

Proceedings in Marine Biology

Journal of the Master Course of the Freie Universität Berlin
(Germany) at the Sven-Lovén-Centre, Tjärnö (Sweden)



UNIVERSITY OF
GOTHENBURG

Volume 1 Number 3 2010

veritas
iustitia
libertas



Beschow, C., Braun, K.: Habitat preferences of *Pomatoschistus minutus* (Gobiidae) under laboratory conditions **1-7**

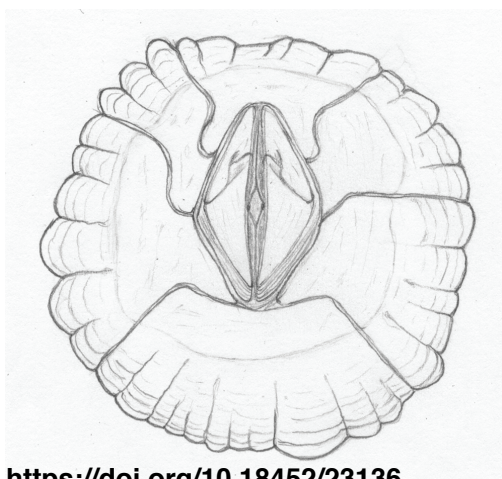
Manerowski, M., Heinsius, R.: Substrate selection of *Asterias rubens* differs in laboratory experiments and field observations **8-15**

Schmidt, J., Rapp, J.: Body size in *Pecten maximus* (Mollusca, Bivalvia) is negatively correlated with frequency of escape response elicited by its predator *Asterias rubens* **16-24**

Mathesius, S., Schuppe, E., and Wakendorf, A.: Analysis of the turning behavior of Asteroidea exemplified by *Asterias rubens*, *Marthasterias glacialis*, and *Crossaster papposus* **25-33**

Lingk, U., Zeller, E.-M.: Barnacle species show unequal propensities for different substrates **34-40**

Getzin, S., Witte, M.: Das Vorkommen von *Semibalanus balanoides* im Kosterfjord ist unabhängig von der Wellenenergie, aber beeinflusst durch die geografische Ausrichtung **41-46**



Species list **47 & 1.1**

Species list **1.2-1.6**

“Proceedings in Marine Biology” is an international journal publishing original research by graduate students on all aspects of marine biology. Subjects covered include: ecological surveys and population studies of oceanic, coastal and shore communities; physiology and experimental biology; taxonomy, morphology and life history of marine animals and plants. Papers are also published on techniques employed at sea for sampling, recording, capture and observation of marine organisms.

Editorial Board

S. Kaul

Zoologie

Freie Universität

Berlin

Germany

skaul@zoosyst-berlin.de

T. Stach

Zoologie

Freie Universität

Berlin

Germany

tstach@zoosyst-berlin.de

Instructions to authors.

Manuscripts submitted to “Proceedings in Marine Biology” must be original, not under consideration elsewhere. Papers should be written in clear English, German, or Swedish with an abstract in English. Acronyms must be written in full on their first occurrence and SI units must be used. Scientific names should be italicized.

Manuscripts should be arranged in the following order:

Title, Author(s), Address(es), Abstract, Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, References, Figures, Captions, and Tables.

Submission.

Please submit all manuscripts for review by e-mail, postal service, or personally as plain word files to the editors.

Preparation.

“Proceedings in Marine Biology” invites contributions as:

- 1. Full Research Articles of not more than 10 printed pages including tables and illustrations (10,000 words+ figures + tables).*
- 2. Short Papers of not more than 3000 words (+2 figures & 2 tables, or 4 figures or 4 tables etc.)*
- 3. Short Communications of not more than 2 printed pages including table and illustration (1500 words + 1 figure & 1 table, or 2 figures or 2 tables). These papers must start with an Abstract but are not otherwise divided into sections.*

E-mail.

Please provide an e-mail address for the first or corresponding author. This will appear on the title page of each article.

Title.

The title should be no more than 20 words.

Abstract.

A concise informative abstract of not more than 250 words should summarize the most important findings.

Tables.

Tables should not be excessive in size and headed by informative legends. Legend, headings and foot note are delimited by horizontal lines. Data sheets and tables deemed necessary might accompany the manuscript and be added as appendices in an electronical supplement.

Citation of literature.

References in the text should refer to the authors name and year of publication. Two authors should be cited using ‘&’ (Rainbow & Dellinger, 1993); for more than two authors, the name of the first author followed by ‘et al.’ (Lallier et al., 1987). When citing more than one publication use a semi-colon to separate the different authors e.g. (Gorind et al., 1997; Mykels & Skinner, 1985a,b; Skinner, 1996). The manuscript should be carefully checked to ensure the details of authors and dates cited in the text exactly match those in the reference list. Cross checking of references in the text to the cited literature and vice versa is the responsibility of the author.

All literature quoted in the text must be listed in alphabetical and chronological order of author names at the end of each manuscript. When more than one publication with the same first author(s) is cited the following order alphabetically applies: (a) single author, according to publication dates; (b) same author and one co-author; (c) same author and more than one co-author. Titles of journals must be written in full and references to books should include the place of publication and the publisher. Examples:

Journals.

Marshall, S.M., Nicholls, A.G. & Orr, A.P. (1939): On the growth and feeding of young herring in the Clyde. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2: 427–455.

Books.

Cushing, D.H. (1981): Fisheries biology, a study in population dynamics, 2nd ed. Madison: University of Wisconsin Press.

Chapters from books.

Weir, B.S. (1990): Intraspecific differentiation. In: Molecular systematics (ed. D.M. Hillis and C. Moritz), pp. 373–410. Sunderland: Sinauer Associates.

Processing.

Manuscripts will be critically reviewed by at least one referee. Subject to suitable review, papers may be selected for publication by the editors. Acceptable papers will be returned to the author for revision and editorial corrections.

Revision.

Revised manuscripts must be returned electronically or on CD. Any Word formats are suitable for text.

Figures.

Figures must be submitted as PC compatible TIFF files. These must be of 300 dpi resolution. All figures should be labelled with a medium weight sans serif font of an appropriate size to result in 8 point type when reduced to a single column width. If figures are in parts, please label A, B, C, D, etc. in top left corner of each part.

Proofs.

The first or corresponding author will receive the proofs, which will be supplied as word or pdf files.

Reprints.

A CD with the final version of the manuscript will be provided to the authors free of charge.

This volume deals exclusively with the results of the
research field trip of the Freie University of Berlin to the
Sven-Lovén-Centre in Tjärnö/Sweden

from 22.09. - 03.10.2010

Participants:

Beschow, Carolin
Braun, Katrin
Getzin, Sofia
Heinsius, Robert
Kaul, Sabrina
Lingk, Undine
Manerowski, Maria
Mathesius, Sabrina
Rapp, Josephine
Schmidt, Juliane
Schuppe, Esther
Stach, Thomas
Wakendorf, Anja
Witte, Mira
Zeller, Eva-Maria

CBESC@t-online.de
katrin87@zedat.fu-berlin.de
sofia.getzin@web.de
angelff@zedat.fu-berlin.de
skaul@zoosyst-berlin.de
ulingk@yahoo.de
m.manerowski@fu-berlin.de
mathesius@t-online.de
josephine@rappprivat.de
julianej.schmidt@yahoo.de
esther.schuppe@arcor.de
tstach@zoosyst-berlin.de
anja.wakendorf@googlemail.com
mira.witte@gmx.de
zeller@zedat.fu-berlin.de

Habitat preferences of *Pomatoschistus minutus* (Gobiidae) under laboratory conditions

Beschow, Carolin; cbes@t-online.de
Braun, Katrin; katrin87@zedat.fu-berlin.de

Abstract

Pomatoschistus minutus (Pallas, 1770) is a small camouflaged gobiid fish that lives in the shallow subtidal. While predation has been shown to be important for population structure in sand gobies evidence for active habitat selection remains controversial. We designed laboratory experiments in order to detect whether *P. minutus* actively chooses between different habitat types and which habitat characteristics are most important. *P. minutus* significantly chose darker bottom over lighter and also significantly prefers the vegetated half of an aquarium over the barren one. However there was no preference for either bare sandy bottom compared to the bare glass bottom. Overall our results unequivocally demonstrate that the soil characteristics are very important features for the habitat choice of *P. minutus*. We discuss these findings with a focus on predation risk and mating behaviour.

Einleitung

In ihrer natürlichen Umgebung sind viele Tiere kaum oder gar nicht zu erkennen. Dies liegt daran, dass sie durch ihre Färbung, Musterung oder andere Körpermerkmale an ihren Lebensraum angepasst sind. So lebt *Pomatoschistus minutus* auf Sandböden, auf denen die Tiere durch ihr Aussehen gut getarnt sind. Es bleibt jedoch auch durch frühere Studien unklar, ob sich *P. minutus* ihre Habitate aktiv aussucht. In unseren Versuchen gehen wir erstmalig davon aus, dass dies der Fall ist. Gibson konnte 1969 nachweisen, dass sie in der Lage sind ihre Körperfärbung den verschiedenen Farben ihres Untergrundes anzupassen. In einer Studie von Magnhagen und Wiederholm (1982) wurden bereits Habitatwahlversuche mit *P. minutus* durchgeführt. Allerdings wurde dabei nur untersucht, ob sich die Sandgrundel bevorzugt im bewachsenen Habitat aufhält. Die Autoren konnten keine signifikanten Unterschiede feststellen.

Obwohl Wiederholm (1987) nachwies, dass Sandgrundeln auf nicht bewachsenen Sandböden leichter von Räubern erbeutet werden, konnten wir zahlreiche Tiere auf genau solch ungeschützten Habitaten beobachten. Damit ergibt sich zu der vorherigen Studie von Magnhagen und Wiederholm (1982) ein Widerspruch, da sie feststellten, dass *P. minutus* weder den bewachsenen noch den unbewachsenen Boden bevorzugt. Somit stellte sich für uns die Frage, welche anderen Faktoren eine Rolle bei der Habitatwahl der Sandgrundeln spielen und wir wollen den Widerspruch durch ein eigenes Experiment klären. Nach Lindström und Ranta (1992) werden Sandgrundeln hauptsächlich von Vögeln erbeutet. Diese Räuber nutzen optische Reize beim Jagen. Daraus ergibt sich, dass *P. minutus* neben seiner Tarnung weitere Verhaltensweisen entwickelt haben sollte, um

diesem Räuberdruck zu entgehen und daher eigentlich häufiger in bewachsenen Habitaten zu finden sein sollte. Da die Färbung von *P. minutus* mehr einem dunklen Untergrund ähnelt, sollten die Tiere auch eher dort zu finden sein, was wir auch im Freiland beobachten konnten. Eine weitere Strategie, um den Räubern zu entgehen, ist das Eingraben der Tiere im Sandboden. Daher vermuteten wir, dass die Struktur des Untergrundes auch ein wichtiger Faktor ist, neben dem Bewuchs und der Untergrundfarbe des Habitats. In unserem Experiment untersuchten wir, inwiefern diese drei Faktoren bei der Habitatwahl von Sandgrundeln entscheidend sind. Dabei wollen wir die folgenden Fragen beantworten: Entscheiden sich, aus ihrem natürlichen Habitat entnommene Sandgrundeln, unter Laborbedingungen für einen Lebensraum, der ihrem Natürlichen ähnelt oder hat die Bodenbeschaffenheit keinen Einfluss auf ihre Wahl? Sucht sich *P. minutus* einen Lebensraum, auf dem sie durch ihr charakteristisches Aussehen nicht auffällt?

Zur Beantwortung dieser Fragen haben wir drei Experimente durchgeführt. Wir untersuchten welche Farbe und Struktur ein Untergrund haben sollte und ob ein Boden Schutzmöglichkeiten bieten muss, um von der Sandgrundel präferiert zu werden. Daraus ergaben sich für uns die folgenden Hypothesen (H):

H1 „Versuch Farbe“: Sandgrundeln wählen signifikant häufiger einen dunklen Untergrund als Habitat.

H2 „Versuch Schutz“: Sandgrundeln wählen signifikant häufiger Habitats auf denen sich Schutzmöglichkeiten befinden (zum Beispiel durch Algen, Muscheln oder Steine).

H3 „Versuch Struktur“: Sandgrundeln wählen den Untergrund, in den sie sich eingraben können. Für alle drei Nullhypothesen gilt, dass die Sandgrundeln keinen bestimmten Untergrund präferieren.



Fig. 1. Habitats, an denen *P. minutus* entnommen wurden.

Material und Methoden

Die Versuche zur Habitatwahl mit *P. minutus* wurden Ende September 2010 in Tjörn (58°52'N, 11°08'O) an der schwedischen Westküste durchgeführt.

Dazu wurden 69 Fische dieser Art an zwei sehr nah aneinander liegenden Stellen entnommen (Fig. 1). Die Sandgrundeln wurden bis zu einer Tiefe von 30cm im nicht bewachsenen Küstenstreifen gesammelt, wobei die Tiere einerseits auf Sand und andererseits auf feinem Kiesel lebten. Die gesammelten Tiere waren durchschnittlich 35mm groß, so dass sie mit einem Kescher gefangen werden konnten. Im Labor wurde *P. minutus* während der kompletten Versuchsdauer in drei großen Aquarien bei einer Wassertemperatur von 10°C und kontinuierlich fließendem Meerwasser gehalten. Der Boden der Aquarien wurde mit einer 1cm dicken Schicht aus Sand befüllt, der am Fundort der Sandgrundeln entnommen wurde. Für die Experimente wurden 3 Aquarien (33,5cm x 23,7cm x 22,5cm), in denen sich jeweils 13 Liter Wasser befanden, genutzt (Fig. 2). Im Aquarium für den „Versuch Farbe“ wurde die eine Hälfte mit weißer Folie und die andere Hälfte mit dunkelgrauem Filz unterlegt,

der die selbe Farbe wie der natürliche Untergrund des Sandgrundelhabitats (Fig. 3) hatte. Im zweiten Becken, im Aquarium für den „Versuch Schutz“ wurde der Boden mit Sand der Korngröße 200µm bis 2mm bis zu einer Höhe von 5mm komplett bedeckt. Nur auf der einen Seite wurden *Fucus spiralis*, Steine und eine aufgeklappte Herzmuschel, die etwa 1cm größer als die durchschnittliche Länge der Sandgrundeln war, als Schutzstellen hinzugefügt. Im letzten Versuchsaufbau für den „Versuch Struktur“ wurde Sand der Korngröße 200µm bis 2mm für eine Hälfte im Becken als Untergrund genutzt. Auf der anderen Seite wurde der Glasboden als Untergrund des Aquariums beibehalten. Damit die Untergrundfarbe auf beiden Seiten identisch ist, wurde zusätzlich der Habitatsand unter dem Glasboden des Aquariums ausgebreitet.

Um eine Seitenpräferenz durch Gewöhnung oder äußere Einflüsse zu vermeiden, wurden die Seiten auf denen sich die einzelnen Habitate befanden einmal pro Tag neu und zufällig festgelegt. An drei aufeinander folgenden Tagen wurden jeweils 23 Sandgrundeln parallel getestet, ohne dass Sichtkontakt zwischen den



Fig. 2. Kompletter Versuchsaufbau: „Versuch Farbe“, „Versuch Schutz“, „Versuch Struktur“ (von links nach rechts) voneinander abgetrennt durch weiße Sichtbarrieren.

einzelnen Aquarien bestand. Jede Sandgrundel wurde somit jeden Tag in einem anderen Aquarium getestet, sodass die Gesamtzahl der Stichprobe pro Experiment 69 beträgt. Uns war wichtig, dass jede Sandgrundel nur einmal jedes Experiment durchlief und zwischen jedem Test 24 Stunden Zeit zur Akklimatisierung hatte, um ein möglichst natürliches Verhalten aufzuzeigen. Die Wahl des Habitats wurde nach 5min aufgenommen, indem notiert wurde, auf welcher Seite sich *P. minutus* befand. Dabei war die Lage des rechten Auges entscheidend. Im Anschluss an jeden Test wurden die Tiere zurück in die Aquarien gegeben und durch neue ersetzt.

Ergebnisse

Im „Versuch Farbe“, bei dem im Aquarium, die eine Hälfte hellen und die andere Hälfte dunklen Untergrund hatte, wählte *P. minutus* hochsignifikant häufiger den dunkleren Untergrund. Nach 5min waren 52 von 69 Tieren auf dem dunklen Untergrund zu finden ($\chi^2 = 17,75$; $p < 0,005$). Somit lehnen wir unsere erste Nullhypothese ab und können unsere erste Hypothese bestätigen. Bei einer Auswahl von dunklem oder hellem Untergrund präferiert *P. minutus* daher den dunkleren Habitatboden, der dem Habitatsand der Fundstelle ähnelt. Ebenso wählte *P. minutus* im „Versuch Schutz“ hochsignifikant häufiger die durch Algen und Steine geschützte Hälfte des zweiten Habitats. Hier bewegten sich 58 von 69 Sandgrundeln nach 5min im geschützten Bereich ($\chi^2 = 32,02$; $p < 0,005$). So kann auch hier die zweite Nullhypothese abgelehnt und die zweite Hypothese bestätigt werden. Daraus ergibt sich, dass sich Sandgrundeln, die die Wahl zwischen einem geschützten und einem ungeschützten Habitat haben, für das mit Algen, Steinen und Muscheln versehene Habitat entscheiden.

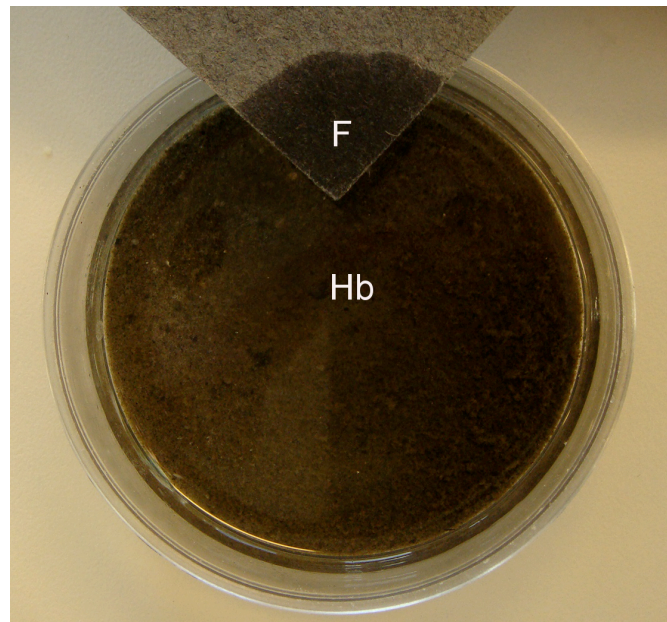


Fig. 3. Vergleich: Farbe des Habitatbodens (Hb) und Farbe des untergelegten Filzes (F) im Versuch Farbe.

Im „Versuch Struktur“, bei dem die Bodenfarbe in beiden Aquarienhälften gleich war und nur die Bodenbeschaffenheit variierte, konnte allerdings keine Signifikanz gemessen werden. Nach 5min wurden die Sandgrundeln auf beiden Hälften des Aquariums gleichermaßen gefunden. 34 von 69 Tieren befanden sich zum Zeitpunkt der Zählung auf dem Sandboden ($\chi^2 = 0,014$; $p > 0,05$), die anderen 35 Tiere auf dem Glasboden. Daher müssen wir an dieser Stelle unsere dritte Nullhypothese annehmen und unsere dritte Hypothese verwerfen (Fig. 4 & Tab. 1). Die Struktur des Untergrundes hat somit auf die Habitatwahl von *P. minutus* keinen Einfluss.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass sich *P. minutus* aktiv ihr Habitat wählt. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass die Bodencharakteristik einen ausschlaggebenden Faktor für die Habitatwahl von *P. minutus* darstellt. Wie in der ersten Hypothese formuliert, bevorzugt die Sandgrundel einen dunklen Untergrund. Es ist

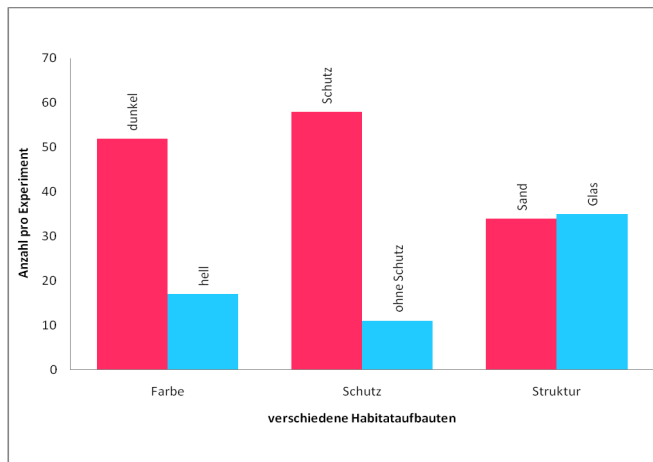


Fig. 4. Habitatwahl von *P. minutus* nach 5min für alle drei Experimente.

zu erkennen, dass *P. minutus* eine ähnliche Farbe wie der Bodenuntergrund hat. Optisch orientierte Räuber, wie Vögel beeinflussen die Population der Sandgrundel (Lindström & Ranta). *P. minutus* könnte somit den dunklen Untergrund bevorzugen, weil sie dort schwerer zu erkennen ist und dadurch ihre Mortalitätsrate durch optisch orientierte Räuber geringer ist.

Obwohl wir *P. minutus* im unbewachsenen Habitat gesammelt haben, bevorzugt sie nach unseren Ergebnissen das bewachsene und somit besser geschützte Habitat. Übereinstimmende Ergebnisse konnten für eine verwandte und morphologisch ähnliche Fischart (Edlund et al, 1980), *Pomatoschistus microps* (Krøyer) ermittelt werden (Magnhagen & Wiederholm, 1982). In dieser Studie wählte *P. microps* signifikant häufiger das bewachsene Habitat, obwohl *P. microps* unter natürlichen Bedingungen nur im offenen Habitat vorkommt. Dies erklärten sich die Autoren dadurch, dass in der natürlichen Umgebung der Faktor der interspezifischen Konkurrenz dafür verantwortlich ist. Entfernt man den Konkurrenzdruck, wählt *P. microps* eher bewachsene Habitate, aus denen sie unter normalen Bedingungen von größeren Fischarten verdrängt wird (Magnhagen & Wiederholm,

1982). Diese Schlussfolgerung könnte auch für *P. minutus* zutreffen und die Ursache dafür sein, dass wir unsere Tiere auf dem unbewachsenen Habitat vorgefunden haben.

Ebenso können wir den Widerspruch von Wiederholm (1987) aufklären und belegen, dass Sandgrundeln hochsignifikant das bewachsene Habitat wählen, um Räubern, die dort erfolgreicher bei der Nahrungsbeschaffung sind, zu entgehen.

Eine weitere Erklärung für die Wahl von geschützten Habitaten kann im Sexualverhalten von *P. minutus* gesehen werden, denn männliche Sandgrundeln, die die Brutpflege übernehmen, bauen unter größeren, stabilen Objekten, wie Muscheln oder Steinen ihre Nester. Damit wird gewährleistet, dass juvenile Sandgrundeln nicht von Räubern gefressen werden (Lindström & Ranta, 1992). Dieses Verhalten ist möglicherweise auch bei unserem Experiment entscheidend für die Habitatwahl von *P. minutus*.

Allerdings zeigen unsere Ergebnisse, dass die Struktur des Bodens für die Habitatwahl von Sandgrundeln keine Rolle spielt, da sie weder den Glasboden noch den Sandboden bevorzugten. Alle Grundeln haben sensorische Papillen in ihrer Epidermis (Webb, 1980). So können sie Unterschiede in der Struktur des Bodens wahrnehmen. Desweiteren haben diese Fische einen ventralen Trichter, der durch die verwachsenen Bauchflossen bei allen Grundeln gebildet wird und leichte Saugkräfte aufweist (Whitehead et al, 1986). Auf einem glatten Untergrund, wie einem Glasboden, kann besser ein Unterdruck erzeugt werden, der diese Saugkraft erhöht. Möglicherweise ist daher auch der Glasboden eine für *P. minutus* attraktive Bodenstruktur. Trotzdem konnte beobachtet werden, dass sich einige Tiere komplett in den Sandboden eingruben und dadurch überhaupt nicht mehr zu erkennen waren. Andererseits haben ebenso viele Tiere den

Tabelle1. Absolute Häufigkeiten der Habitatwahl von *P. minutus* in allen drei Versuchen nach 5min.

Farbe		Schutz		Struktur	
dunkel	hell	mit Schutz	Ohne Schutz	Sandboden	Glasboden
52	17	58	11	34	35

Glasboden gewählt, wobei man beachten muss, dass auch dieser Boden aufgrund des Sandes unter dem Aquarium dunkel war und somit nach „Versuch Farbe“ ein von *P. minutus* präferierter Boden ist.

Aus diesem Ergebnis können wir schlussfolgern, dass wir unser Modell im Bezug auf die Struktur des Bodens bei der Habitatwahl überdenken müssen. Trotz des Eingrabverhaltens in den Sandboden, dass bei einigen Sandgrundeln beobachtet werden konnte, ist dieses nur ein zusätzlicher Schutzmechanismus, den nicht alle Sandgrundeln zeigen und den anscheinend nicht alle in ihrem bevorzugten Habitat benötigen.

Im Allgemeinen kann man für *P. minutus* schlussfolgern, dass die Habitatwahl stark abhängig ist von der Farbe des Bodens und den Schutzmöglichkeiten, die er bietet und weniger davon, wie die Struktur des Untergrundes beschaffen ist.

Wir konnten nachweisen, dass *P. minutus* unter Laborbedingungen aktiv ihr Habitat sucht. Ob dies auch unter natürlichen Bedingungen der Fall ist, muss noch in einer weiteren Studie als Freilandversuch gezeigt werden.

Weiterhin wird die Entscheidung für ein Habitat durch die Sandgrundel sicherlich durch mehrere und auch zusammenspielende Faktoren bestimmt, wie zum Beispiel: Wassertemperatur, Nahrungsangebot, Licht, Salinität, intra- und interspezifische Konkurrenz, Räuberdruck und Sauerstoffgehalt des Wassers. In dieser Hinsicht sind noch weitere Studien nötig, um über das

komplexe Habitatwahlverhalten von *P. minutus* Informationen geben zu können.

Literatur

- Campbell, A.C. (1977): Der Kosmos-Strandführer, 1. Auflage, Stuttgart: Franckh'sche Verlagshandlung, S. 269 f.
- Edlund, A.-M., Sundmark, G. & Thorman, S. (1980): The identification of *Pomatoschistus pictus*, *P. microps* and *P. minutes* (Gobiidae, Pisces), Sarsia, 65: 239-242
- Gibson, R. N. (1969): The biology and behavior of littoral fish. In: Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. (ed. Barnes, H.), 7: 367-410
- Lindström, K. & Ranta, E. (1992): Predation by birds affects population structure in breeding sand goby, *Pomatoschistus minutus*, males, OIKOS, 64: 527-532
- Magnhagen, C. & Wiederholm, A.-M. (1982): Habitat and food preferences of *Pomatoschistus minutus* and *P. microps* (Gobiidae) when alone and together: an experimental study, OIKOS, 39: 152-156
- Pallas, P. S. (1770): Spicilegia zoologica, quibus novae imprimis et obscurae animalium species iconibus, descriptionibus atque commentariis illustrantur, vol. 1., Berlin: Gottle, August & Lange
- Schäfer, M. (1994): Brohmer, Fauna von Deutschland: ein Bestimmungsbuch unserer heimischen Tierwelt, 19. überarbeitete Auflage, Heidelberg-Wiesbaden: Quelle und Meyer, S. 543
- Webb, C. J. (1980): Systematics of the *Pomatoschistus minutes* complex (Teleostei: Gobioidae), Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Biological Sciences, Series B, 291: 201-241
- Whitehead, P. J. P., Bauchot, M.-L., Hureau, J.-C., Nielsen, J. & Tortonese, E. (1986): Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean, Volume III, Unesco, S. 1019

Wiederholm, A.-M. (1987): Habitat selection and interactions between three marine fish species (Gobiidae), OIKOS, 48: 28-32

Substrate selection of *Asterias rubens* differs in laboratory experiments and field observations

Maria Manerowski, 4238470, m.manerowski@fu-berlin.de

Robert Heinsius, 4121531, angelff@zedat.fu-berlin.de

Abstract

Asterias rubens is a widely distributed sea star species. Different preferences regarding substrate type have been reported in the literature for *Asterias rubens*. In the shallow sublittoral of the northern Skagerrak the population density of *Asterias rubens* is significantly higher on soft sediment compared to coarse sand and hard substrates. Laboratory experiments on the other hand demonstrate that *Asterias rubens* significantly chooses hard substrate over soft sediments. This discrepancy demonstrates that factors other than substrate type shape the distribution of *Asterias rubens* in the field. Some potential factors are discussed. Moreover, the present study shows the usefulness of combining careful field observations with laboratory experiments.

Einleitung

Das Vorkommen von *Asterias rubens* war zuvor bereits Gegenstand vieler Studien. Ihr Auftreten ist breit gefächert von Island bis nach Senegal (Hayward & Ryland, 1990). Die Wahl des Substrates unterscheidet sich jedoch in den bisherigen Beobachtungen. Während einige Studien *Asterias rubens* auf weitgehend allen Substraten beschreiben, über Schlamm bis hin zu Felsen (Ververs, 1949), beschränkt sich die Substratwahl bei Anderen hauptsächlich auf harte Substrate (Hayward & Ryland, 1998). An diesen Forschungsstand knüpft die Untersuchung dieser Studie an, mit dem Ziel die Frage zu klären, ob *Asterias rubens* Präferenzen für bestimmte Substrattypen zeigt, oder nicht.

Organismen, wie Nahrungsangebot, Strömung, Räuberdruck, Temperatur oder Salinität. Um der Hypothese nachzugehen, dass *Asterias rubens* einen bestimmten Bodentyp bevorzugt, wurde im nördlichen Skagerrak die Populationsdichte auf unterschiedlichen Bodentypen untersucht. Ist die Beschaffenheit des Untergrundes eventuell entscheidend, für die Substratwahl von *Asterias rubens*? Um diese Frage zu beantworten, wurden unter standardisierten Bedingungen Wahlversuche durchgeführt, die das Präferenzverhalten von *Asterias rubens* auf die Bodenbeschaffenheit untersucht.

Im Freiland bestimmt das Zusammenspiel vieler unterschiedlicher Faktoren die Verteilung von

Material und Methoden

Freilandversuche

In einem Zeitraum von drei Tagen, vom 27. September 2010 bis zum 30. September 2010, wurden vier unterschiedliche Habitattypen zwischen den Inseln Tjörnö und Saltö, im nördlichen Skagerrak untersucht (siehe Abbildung 1).

An den vier ausgewählten Standorten herrschten vier verschiedene Habitattypen, Schlamm, Sand, feiner Kies und Geröll vor. Die Substrattypen wurden nach ihrer Korngröße definiert (Schlamm: $<63\mu\text{m}$, Sand: $63\mu\text{m} - 4\text{mm}$, Kies: $4 - 256\text{mm}$, Geröll: $>256\text{mm}$ (Little, 2003)). An jedem Standort wurden jeweils fünf unterschiedliche Stichproben genommen. Die Standorte wurden im Vorfeld nach vergleichbaren Bedingungen, wie leichte Strömung, Bewuchs, Salzgehalt, Temperatur oder Tiefe ausgewählt. Alle durchgeführten Zählungen wurden im oberen Sublitoral durchgeführt, hier betrug die Wassertiefe 0,5m bis 1,5m. Zur Auswahl der Stichprobe wurde ein Quadrat aus einem dünnen Metallstab mit den Maßen 1 x 1m verwendet, welches noch einmal in 25 einzelne Quadrate durch eine dünne Schnur unterteilt

wurde. Zur Orientierung an der Wasseroberfläche wurde ein Auftriebskörper mit einer Schnur befestigt. Dieses Quadrat wurde am jeweiligen Standort in eine zufällige Richtung und Weite geworfen. Im Anschluss wurden sämtliche Individuen von *Asterias rubens* im Quadrat gezählt. Nach Erfassungen der Daten wurden diese statistisch aufbereitet und in der Abbildung 3 und 4 grafisch dargestellt.

Laborversuche

Für den Versuch im Labor wurden die gleichen vier Substrattypen wie im Freilandversuch verwendet. Um eine Vergleichsmöglichkeit zu gewährleisten, wurden die Substrate nach dem Auszählen im Freilandversuch an diesen Stellen entnommen. Das entnommene Substrat wurde in vier gleichen, vorher gereinigten Boxen (Höhe: 30cm, Länge: 55cm, Breite: 36cm) zu gleichen Teilen angeordnet (siehe Abbildung 2). Jedes Substrat besaß eine Höhe von 12cm. Zur Abgrenzung der Substrate wurden Trennwände mit der Höhe von 8cm zwischen die verschiedenen Substraten eingebracht. Die Boxen wurden durchgängig mit frischem Meerwasser aus 40m Tiefe versorgt.

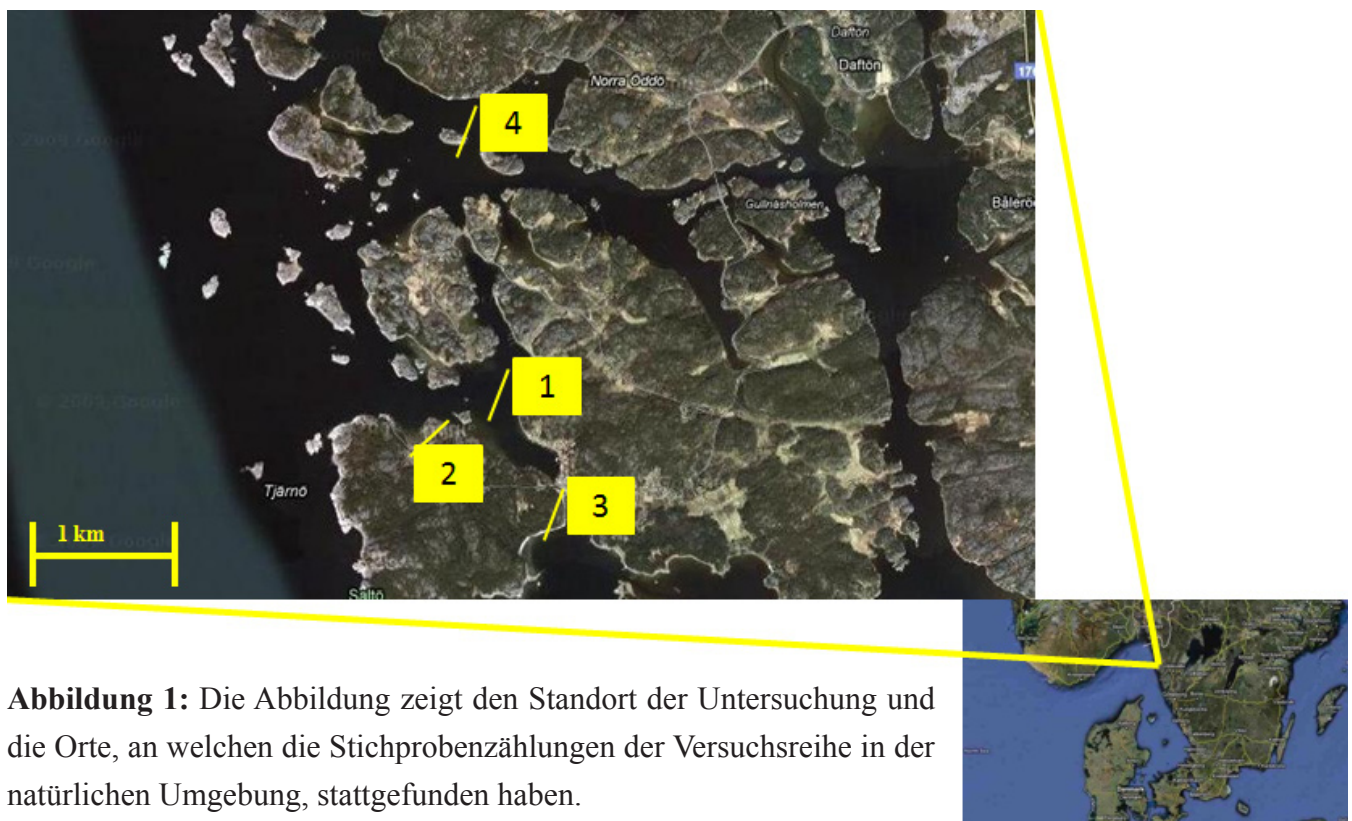


Abbildung 1: Die Abbildung zeigt den Standort der Untersuchung und die Orte, an welchen die Stichprobenzählungen der Versuchsreihe in der natürlichen Umgebung, stattgefunden haben.

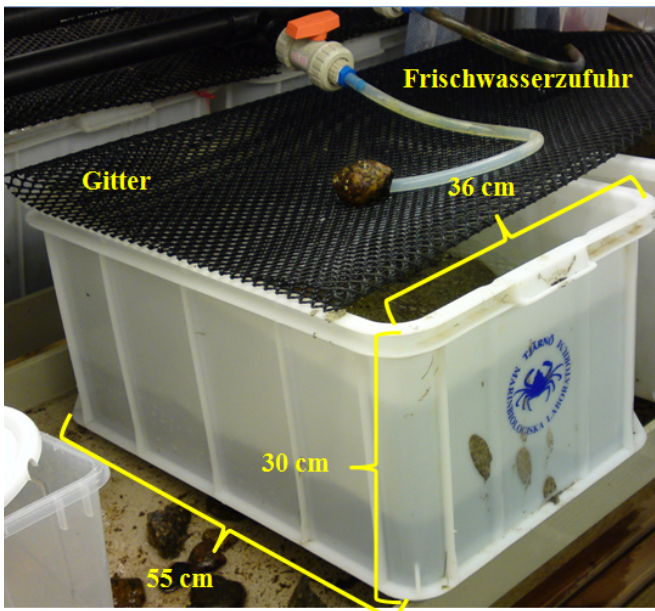


Abbildung 2: Aufbau der ersten Laborversuchsreihe. Die zweite Laborversuchsreihe war bis auf die Größe der Boxen identisch aufgebaut. Hier betrugen die Länge: 36cm, die Höhe: 30cm und die Breite: 27,5cm. Über alle Versuchsboxen wurde ein Gitter gelegt, um den Verlust von Individuen

Die Versuchstiere wurden vor der Durchführung des Experimentes für 20 Stunden in einer neutralen Box ohne Substrat gehalten. Zu Beginn des Experimentes wurden fünf zufällig gewählte Versuchstiere pro Box in die Mitte dieser gesetzt. Im weiteren Verlauf, wurde der jeweilige Aufenthaltsort der einzelnen Individuen, in vordefinierten Zeitabständen von einer Stunde aufgenommen (siehe Tabelle 1). Ein Individuum wurde immer dann zu einem Substrat gezählt, wenn es sich mit der Zentralscheibe auf diesem befand bzw. über diesem. Die ermittelten Daten wurden statistisch in einer Grafik aufbereitet.

Im weiteren Verlauf wurden sechs weitere Boxen mit jeweils zwei Substrattypen präpariert, dabei betrug auch hier die Substrathöhe 12cm und auch hier wurden Trennwände von einer Höhe von 8cm eingerichtet. Die Boxen wiesen die Hälfte der Maße der Boxen aus der ersten Versuchsreihe auf, lediglich die Höhe der Versuchsbox blieb gleich. Es wurden nun pro Box je zwei zufällig bestimmten Individuen ausgewählt und in die Mitte der verschiedenen Boxen gesetzt, so dass sie, wie in der ersten Versuchsreihe, mit allen in der Box befindlichen Substrattypen gleichzeitig in Berührung kommen. Anders als in der ersten Versuchsreihe

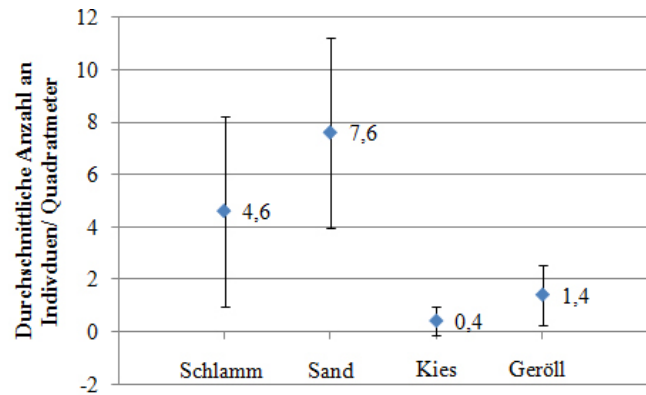


Abbildung 3: Populationsdichten von *Asterias rubens* auf unterschiedlichen Habitattypen. Fehlerbalken sind Standardabweichungen.

wurden hier alle zwei Stunden die Versuchstiere gegen andere ausgetauscht. Nun wurde auch hier wieder in vordefinierten Zeitabständen von einer Stunde die Lage der Individuen gezählt, wobei alle Individuen berücksichtigt wurden, die sich mit der Zentralscheibe auf bzw. über einem Substrat befanden. Die aus der zweiten Versuchsreihe resultierenden Daten wurden wieder statistisch aufbereitet.

Ergebnisse

Das Freilandexperiment hat ergeben, dass die Populationsdichte von *Asterias rubens* auf Sand und Geröll am höchsten ist. Dabei fand man auf Sand durchschnittlich fast 8 Individuen pro Quadratmeter (Abbildung 3). Die Dichte auf Schlamm betrug nur knapp 5 Individuen pro Quadratmeter, wobei die Dichte höher war als auf Kies und Geröll. Jedoch ist der Unterschied zwischen Sand und Schlamm nicht signifikant (χ^2 -Test ergab einen Wert von 3,69 $\rightarrow p > 0,05$). In allen Zählungen wurden insgesamt 70 Tiere gezählt, dabei hatten die Individuen auf Sand mit insgesamt 38 Individuen einen Anteil von 54,3% (Abbildung 4). Die durchschnittliche Populationsdichte auf Kies beträgt nahezu kein

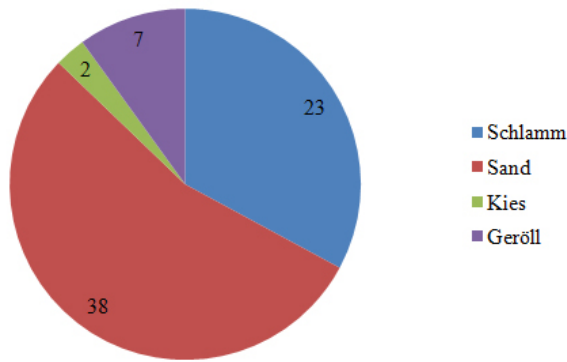


Abbildung 4: Gesamtzahl der Individuen auf den vier unterschiedlichen Substrattypen. Um die Verteilung der Gesamtanzahl von *Asterias rubens* auf den verschiedenen Habitattypen zu verdeutlichen, wurden diese in einem Diagramm dargestellt. Dabei zeigt sich eine hohe Anzahl von Individuen im sandigen Habitat. Insgesamt wurden in allen Stichproben 70 Individuen gezählt. Dieses Diagramm zeigt nur einen Anhaltspunkt für die Habitatwahl von *Asterias rubens* in einer natürlichen und von anderen Einflüssen bedingten Umgebung.

Individuum pro Quadratmeter, auf Geröll beträgt sie ca. 1 Individuum pro Quadratmeter (Abbildung 3). Der Unterschied zwischen Kies und Geröll ist nicht signifikant, doch weichen Sand und Geröll signifikant voneinander ab (χ^2 -Test ergab einen Wert von 8,53 $\rightarrow p < 0,05$).

Die Auswertung der Substratwahl von *Asterias rubens*, in einem nachgestellten Lebensraum hat ein entgegengesetztes Ergebnis gezeigt. Hier trat *Asterias rubens* mit einer deutlichen Mehrheit auf dem Substrat Geröll auf. Insgesamt waren 100 Individuen auf diesem Substrat vertreten, das entspricht 71,4% der Gesamtanzahl. Die Individuen auf den Substraten Sand und Kies lagen bei 16 und 17, lediglich auf dem Substrat Schlamm wurde *Asterias rubens* nur 7 mal aufgefunden (Abbildung 5, Tabelle 1). Dieser Trend lässt sich anhand der durchschnittlich aufgefunden Individuen pro Stunde nachvollziehen (Abbildung 6). Durchschnittlich befand sich *Asterias rubens* mit 14 Individuen auf diesem Substrat. Auf den restlichen Substraten, konnten nicht mehr als durchschnittlich 2 Individuen pro Stunde nachgewiesen werden (Abbildung

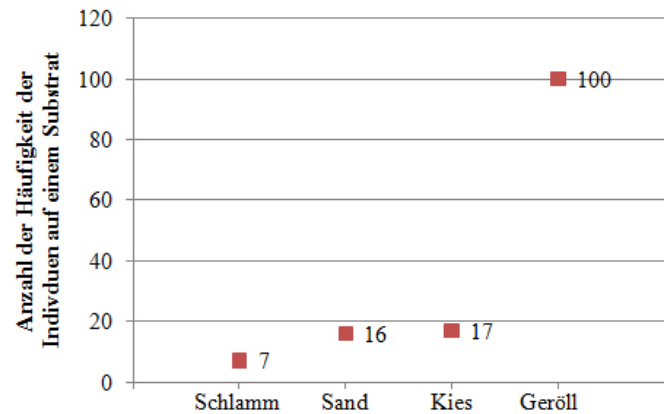


Abbildung 5: Die Grafik zeigt den Trend für die Substratwahl von *Asterias rubens*, in Bezug auf das Substrat Geröll, mittels der dargestellten absoluten Häufigkeit des Auftretens der Versuchstiere von *Asterias rubens* auf den unterschiedlichen Substrattypen.

6, Tabelle 1). Die Unterschiede zwischen den Substrattypen sind hoch signifikant (χ^2 -Test ergab einen Wert von 172,49 $\rightarrow p < 0,05$ (Tabelle 1)).

In einem dritten Schritt wurden die Auswahlmöglichkeiten für die Individuen noch weiter eingeschränkt, so dass sie nun nur noch zwei Wahlmöglichkeiten besitzen. Die Hälfte der Versuchsboxen wies eine starke bis hohe Signifikanz auf (χ^2 -Test ergab in den Boxen 1, 4 und 6 die Werte 6 und 24 $\rightarrow p < 0,05$ (Tabelle 2)). Jedoch wiesen die Boxen 2, 3 und 5 ein nicht signifikantes Versuchsergebnis auf (χ^2 -Test ergab in den Boxen 2, 3 und 5 die Werte 0,17 und 1,5 $\rightarrow p > 0,05$ (Tabelle 2)). Am häufigsten traten die Individuen in der Box 1 auf dem Substrat Sand auf. Die Box 4 wies eine starke Tendenz für das Substrat Kies auf, hingegen wies die Versuchsbox 6 eine häufige Wahl des Substrates Geröll auf (vgl. Tabelle 2).

Diskussion

Die Beobachtung des unterschiedlich starken Auftretens von *Asterias rubens* auf verschiedenen Habitaten im Freien hat gezeigt, dass es eine Präferenz für weiches Substrat gibt. Insbesondere auf

Tabelle 1: Ergebnisse der ersten Laborversuchsreihe, in welcher vier identische Versuchsboxen, mit jeweils vier Substrattypen (Schlamm, Sand, Kies, Geröll) und jeweils fünf Individuen von *Asterias rubens* untersucht wurden. Über sieben Stunden wurde die Anzahl der Tiere auf den verschiedenen Substrattypen gezählt.

Habitat/t [h]	Total	Mittelwert	Standardabweichung	Erwartungswert
Schlamm	7	1	0	35
Sand	16	2,2857143	0,487950036	35
Kies	17	2,4285714	0,534522484	35
Geröll	100	14,285714	0,487950036	35
Total	140	x2-Test →	172,487395	hoch signifikant

den sandigen Sedimenten ist *Asterias rubens* stark vertreten. Die Ergebnisse der Stichprobenzählung zeigen, dass *Asterias rubens* häufiger auf weichem Habitat wie Sand und Schlamm zu finden ist, wodurch die Hypothese dieser Studie bestätigt wird. Eine mögliche Erklärung für die hohe Anzahl an Individuen von *Asterias rubens* im sandigen Substrat erklärt sich anhand des erhöhten bzw. angepassten Nahrungsangebotes und der darauf basierenden erhöhten Reproduktionrate in diesem Habitat. Das führt dazu, dass verstärkt viele junge Tiere im sandigen Sediment zu finden sind. Adulte Tiere sind in der Lage ein breiter gefächertes Nahrungsangebot zu nutzen, welches in verschiedenen Habitaten vorkommt, wodurch sie in die Lage versetzt werden, Habitate mit anderen Nahrungsquellen zu wählen (Vevers, 1949). Adulte Tiere sind somit nicht so stark auf bestimmte Nahrungsquellen angewiesen, sondern können sich auch an anderen Habitaten mit anderen Nahrungsquellen anpassen. Ein weiterer Grund könnte daraus resultieren, dass es eine Überpopulation an einigen Standorten gibt, welche zu einer höheren Reproduktionsrate führen könnte (Vevers, 1949). Je mehr Individuen sich auf einem Habitat sammeln, desto mehr Individuen sind imstande sich dort zu vermehren, was natürliche eine weitere Begrenzung der Nahrungsressourcen zur Folge haben könnte. Neben der Nahrung können auch andere Umwelteinflüsse sich auf die Wahl des Habitates auswirken. Während der Wahl der Stichproben der verschiedenen Substrate

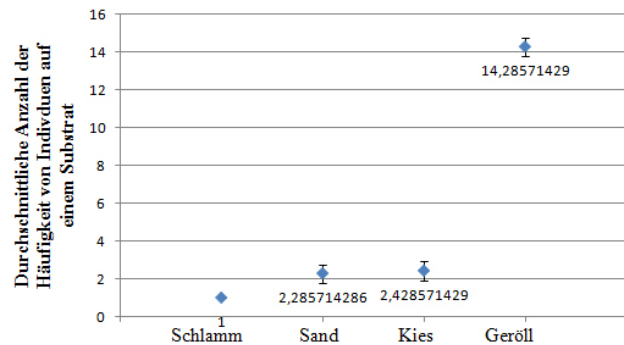


Abbildung 6: In diesem Diagramm werden die unterschiedlichen Sedimenttypen gegen die durchschnittliche Anzahl der Häufigkeiten, des Auftretens der Individuen von *Asterias rubens* aufgetragen. Hierbei sind alle Versuchsboxen zusammengefasst. Für jeden Durchschnittswert wurde zudem die Standardabweichung hinzugefügt. Es lässt sich ein deutlicher Trend hin zu festem Substrat, insbesondere Geröll, feststellen.

wurde zwar darauf geachtet, dass vergleichbare Bedingungen vorherrschen, jedoch wurde die Salinität, wie die Erhebung des eventuell bestehenden Nahrungsspektrums der unterschiedlichen Habitats außer acht gelassen. Bei vorherigen Studien hat sich dagegen gezeigt, dass *Asterias rubens* eine hohe Intoleranz gegenüber unterschiedlichen Salzgehalten hat (Briyon, 1961), was auch hier ausschlaggebend sein könnte für das Ergebnis dieser ersten Bestandsaufnahme. Diese Stichprobenreihe zeigt, dass im nördlichen Skagerrak *Asterias rubens* bevorzugt auf weichem Substrat zu finden ist. Grund für diese Verteilung der Population in diesen Küstengebieten kann die Abhängigkeit von einem bestimmten Nahrungsangebot sein (Vevers, 1949). Es gilt hier noch weiter zu untersuchen, wie vergleichbar die Bedingungen für *Asterias rubens* an diesem Standort mit anderen bereits bekannten Populationsgebieten sind.

Um den Einfluss von äußeren Faktoren auf diese Ergebnisse weitestgehend auszuschließen, wurde *Asterias rubens* außerhalb von Umweltfaktoren auf die Habitatwahl untersucht. Die Durchführung eines Vergleichsversuchs im Labor ermöglicht die Ausblendung von Räuberdruck, Nahrungsangebot und unterschiedlicher Strömung sowie schwankendem Salzgehalt und Temperatur,

durch die permanente Versorgung der Individuen mit vergleichbarem Meerwasser. Die erste Versuchsreihe im Labor hat gezeigt, dass in drei von vier Versuchsansätzen *Asterias rubens* Geröll vor Weichsubstrat und Kies bevorzugt. Dies spiegelt sich in der vorangehenden Forschung wieder, die *Asterias rubens* auf verschiedenen harten Substraten beschreibt (Hayward & Ryland, 1990).

Nachdem getestet wurde wie sich *Asterias rubens* bei einer gleichzeitigen Auswahl von vier Substraten entscheidet, wurde in der zweiten Versuchsreihe die Auswahl des Substrates auf jeweils zwei verschiedene Substrate eingeschränkt, wodurch eine direkte Entscheidung von *Asterias rubens* zwischen zwei Substraten erzwungen wurde. Dies ermöglicht eine Angabe über die Präferenz der Substrate untereinander im direkten Vergleich. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass nur die Hälfte der Kombinationen von den vier verschiedenen Substraten signifikante Resultate ergeben. Eine deutliche Präferenz für ein hartes Substrat gegenüber einem weichen gibt es nur bei Kies und Sand. Die weiteren Kombinationen von hartem Substrat mit weichem Substrat ergaben keine signifikanten Unterschiede. Innerhalb des weichen und harten Substrattypen zeigt sich jedoch eine Präferenz, basierend auf einem Vorzug von Geröll gegenüber Kies, sowie Sand gegenüber Schlamm. Zusammenfassend zeigt sich in dieser Versuchsreihe eine Präferenz dem harten Substrat gegenüber dem weichen Substrat, dennoch gibt es Vertreter von *Asterias rubens*, die verstärkt das weiche Substrat bevorzugen. Der Grund für diese Wahl kann darin liegen, dass die Individuen in diesem Substrat ein besseres Nahrungsangebot erwartet haben. Keinen Einfluss auf die Entscheidung von *Asterias rubens* nimmt der Ort des Lichteinfalls, da *Asterias rubens* sich nicht nach der Lichtquelle orientierte und diese nicht über die Substratwahl dominierte, wodurch die

Ergebnisse nicht mit den vorangehenden Studien zur Lichtorientierung von Seesternen übereinstimmen (E. Diebschlag, 1938). Auszuschließen als Grund für die Wahl des Substrates ist zudem der Einfluss weiterer Vertreter von *Asterias rubens*, da sie keine Reaktion auf das Wasser zeigen, indem sich ein Artgenosse befindet, somit kann ein gegenseitiger Einfluss über den Geruch des Anderen ausgeschlossen werden (Castilla, 1970). Doch zeigte die Haltung der Individuen in der neutralen Box bereits Ansätze von gegenseitiger Rivalität. Was sich in dem Verlust von zwei kleineren Individuen niederschlägt.

Im Vergleich der Beobachtung im Freien mit den zwei Laborversuchen zeigt sich, dass zwei verschiedenen Präferenzen auftreten. Basierend darauf wird die Frage nach weiteren Faktoren, welche die Präferenzierung eines bestimmten Substrates auslöst, aufgeworfen. Zu diesen Faktoren zählen das Nahrungsangebot, die Strömung, der Räuberdruck, den Salzgehalt oder auch Schutzmöglichkeiten, bis hin zu günstigen Bedingungen für die Reproduktion, im jeweiligen Habitat, die in diesem Versuch nicht weiter untersucht wurden. Das lässt darauf schließen, dass die Wahl des Substrates im Freien von *Asterias rubens* von diesen Umwelteinflüssen dominiert wird. Weiterführend müssten die einzelnen vermuteten Einflüsse auf ihre Relevanz bei der Substratwahl geprüft werden. Daran schließt an, dass für relevante Ergebnisse bei der Beobachtung im Freiland zu wenige Standorte geprüft wurden. Anhand dieser Beobachtung lässt sich nur eine Aussage für den nördlichen Skagerrak treffen. Die Hypothese lässt sich somit nur für die gewählten Standorte im Freien bestätigen, jedoch wird sie eindeutig durch die standardisierten Versuchsreihen im Labor nicht bestätigt und damit widerlegt. Auf den Ergebnissen aufbauend, müssten weitere Standorte gewählt werden und mit diesen verglichen werden. Die Ergebnisse aus dem Labor

Tabelle 2: Ergebnisse der zweiten Laborversuchsreihe, in welcher 6 Versuchsboxen, mit jeweils zwei Substrattypen (Schlamm, Sand, Kies, Geröll) in allen möglichen Kombinationen untersucht wurden. In Zeitabständen von einer Stunde über zwölf Stunden wurde die Anzahl der Tiere auf den unterschiedlichen Substrattypen gezählt.

Box 1:	Habitat/t [h]	Total	Mittelwert	Standabweichung	Erwartungswert
	Schlamm	6	0,5	0,522232968	12
	Sand	18	1,5	0,522232968	12
	Total	24	x2-Test →	6	stark signifikant
Box 2:	Habitat/t [h]	Total	Mittelwert	Standabweichung	
	Schlamm	11	0,9166667	0,668557923	12
	Kies	13	1,0833333	0,668557923	12
	Total	24	x2-Test →	0,166666667	nicht signifikant
Box 3:	Habitat/t [h]	Total	Mittelwert	Standabweichung	
	Schlamm	9	0,75	0,452267017	12
	Geröll	15	1,25	0,452267017	12
	Total	24	x2-Test →	1,5	nicht signifikant
Box 4:	Habitat/t [h]	Total	Mittelwert	Standabweichung	
	Sand	0	0	0	12
	Kies	24	2	0	12
	Total	24	x2-Test →	24	hoch signifikant
Box 5:	Habitat/t [h]	Total	Mittelwert	Standabweichung	
	Sand	9	0,75	0,452267017	12
	Geröll	15	1,25	0,452267017	12
	Total	24	x2-Test →	1,5	nicht signifikant
Box 6:	Habitat/t [h]	Total	Mittelwert	Standabweichung	
	Kies	6	0,5	0,522232968	12
	Geröll	18	1,5	0,522232968	12
	Total	24	x2-Test →	6	stark signifikant

zeigen zusammenfassend eine signifikante Präferenz von *Asterias rubens* zu den harten Substraten wie Geröll und Kies, wodurch die Hypothese, dass *Asterias rubens* weiches Substrat wie Sand oder Schlamm bevorzugt, widerlegt wird. Die Wahl des Gerölls als Substrat könnte darin begründet liegen, dass *Asterias rubens* von einem stark mit Algen bewachsenen Grund entnommen wurde, die ihm

gute Versteckmöglichkeiten bot. Das Geröll bietet im Vergleich zu dem Kies, Schlamm und Sand ebenfalls die Möglichkeit sich zu verstecken, das sich bei vielen kleinen Vertretern beobachten lies. Dies lässt auf eine Schutzreaktion schließen.

Literatur

- Hayward, P.J. & Ryland, J.S. (1998): Handbook of the Marine Fauna of North-West Europe, Oxford University Press, New York, S. 668-671
- Hayward, P.J. & Ryland, J.S. (1990): The Marine Fauna of the British Isles and North-West Europe. Molluscs to Chordates. Volume 2, Calarendon Press, Oxford, S. 848
- Little, C. (2003): The Biology of Soft Shores and Estuaries. Oxford University Press, New York, S.4
- Briyon, J. (1961): Salinity tolerance and permeability to water of the starfish *Asterias rubens* L., Cambridge University Press, New York
- Castilla, J.C. & Crisp, D.J. (1970): Responses of *Asterias rubens* to olfactory stimuli. Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom, Cambridge University Press, New York
- Diebschlag, E. (1938): Ganzheitliches Verhalten und Lernen bei Echinodermen. Journal of comparative physiologie A: neuroethology, sensory, neural and behavioral physiologie, Volumen 25, Nr.4
- Ververs, H.G. (1949): The biology of *Asterias rubens* L.: growth and reproduction, Cambridge University Press, New York

Body size of *Pecten maximus* (Mollusca, Bivalvia) is negatively correlated with frequency of escape response elicited by its predator *Asterias rubens*

Schmidt, Juliane; julianej.schmidt@yahoo.de

Rapp, Josephine; josephine@rappprivat.de

Abstract

Prey and predator relations are complex and depend on several factors. One of these is the size difference between predator and prey. The dependence of the frequency of the escape response to the body size difference is tested by using different sizes of the bivalve *Pecten maximus* and its common predator, the sea star *Asterias rubens*. All tests were run under laboratory conditions. The trials show, that the frequency of the escape response depends on the prey size and not on the size of the predator. With an increasing mussel size the frequency of the escape response decreases. The results are consistent with the hypothesis that smaller individuals suffer from a higher predation pressure than bigger ones and have to react in the presence of *A. rubens*. The hypothesis that bigger individuals only react in the presence of a big predator is rejected. Not reacting to the presence of a predator may ultimately be advantageous by saving energy. We also noted that reaction intensity is influenced by different maintenance conditions of *P. maximus*.

Einleitung

Räuber-Beute-Beziehungen zeichnen sich durch hohe Komplexität und das Zusammenspiel vieler verschiedener Faktoren aus. Nicht nur innerhalb eines Netzwerkes, sondern auch zwischen zwei spezifischen Arten, die in Räuber-Beute-Beziehung stehen, können Variationen auftreten, die sich auf das Verhalten der Organismen auswirken.

Ein solches Verhältnis besteht zwischen bestimmten Bivalvia und Asteroidea. Ein häufig beschriebenes Beispiel stellt die Beziehung zwischen *Pecten maximus* und *Asterias rubens* dar. Dabei bilden die Muscheln die Hauptnahrungsquelle von *A. rubens*. Er frisst sie, indem er die Schalen öffnet, seinen Magen hineinstülpt und die Muschel

über Verdauungssäfte zersetzt. *P. maximus* ist fähig, Reize über die Chemo- und Mechanorezeptoren der Tentakel wahrzunehmen und Hell-Dunkel-Unterschiede mit ihren Augen zu registrieren (Wilkens, 1991) (Abb. 1). Zudem haben sich bei vielen Bivalvia Adaptionen als Antwort auf den Räuberdruck entwickelt (Vermeij, 1987). In Falle der *P. maximus* kann eine aktive Fluchtreaktion beobachtet werden. Sie erzeugt durch ruckartiges Öffnen und Schließen der Schalen eine Schwimmbewegung (Thomas & Gruffydd, 1971) (eigene Beobachtung). Dieses Fluchtverhalten steht im Zusammenhang mit der potenziellen Gefahr, die

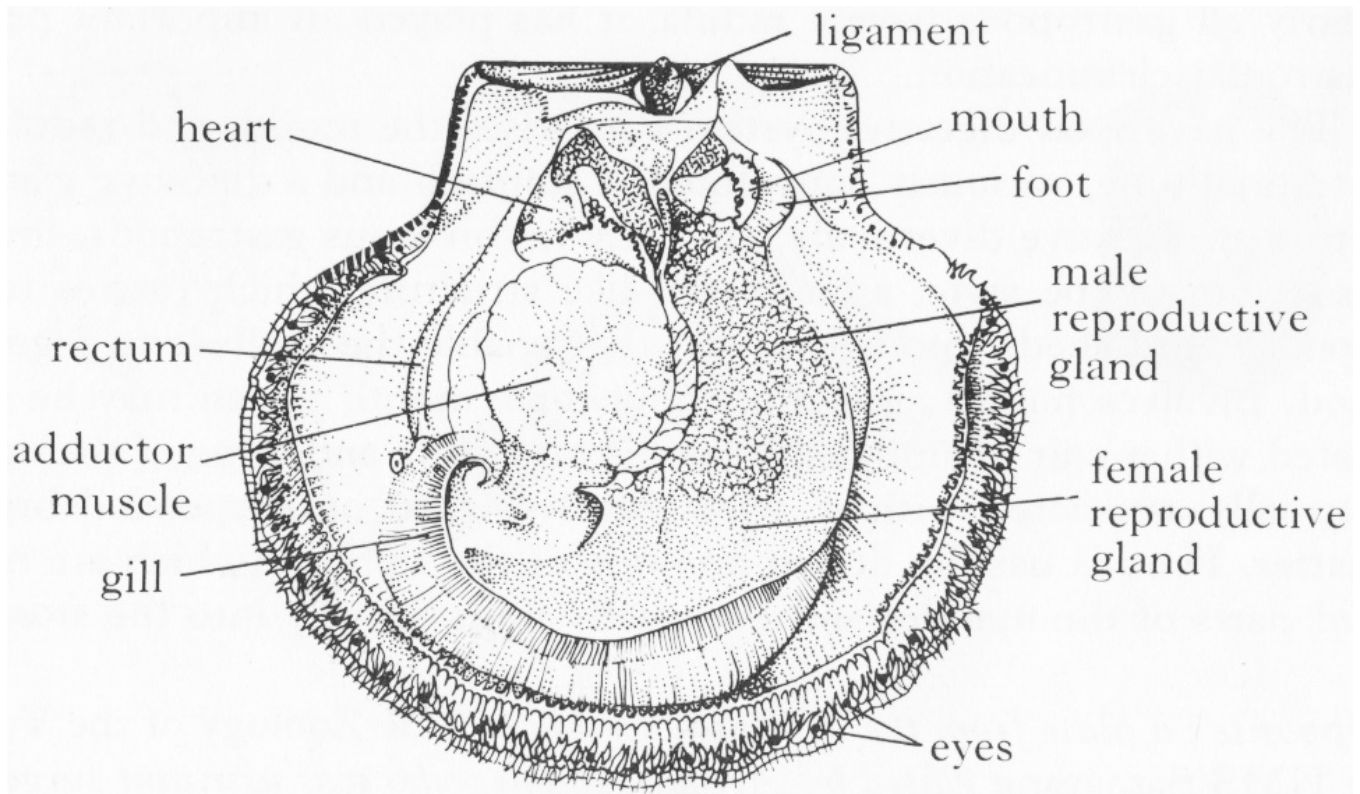


Abb. 1: Situs einer adulten *Pecten maximus*, rechte Schalenhälfte entfernt. Augen sind als schwarze Punkte zwischen den Tentakeln des Mantelrandes zu sehen. Chemo- und Mechanorezeptoren sitzen an den Tentakeln (Dance, S.P., 1976).

vom Räuber ausgeht (Hutson et al., 2005). So sind die stärksten Reaktionen messbar bei Kontakt mit räuberischen Seesternen wie *A. rubens* und *Marthasterias glacialis*, weniger starke dagegen bei nicht-muschelfressenden Seesternen. Eine Schwimmbewegung wurde als starke Reaktion gewertet, eine weniger starke ist zum Beispiel das Schließen der Schalen (Thomas & Gruffydd, 1971). Diese Beobachtung ruft die Vermutung hervor, dass *P. maximus*, wie möglicherweise auch andere Mollusca (Thomas & Himmelman, 1988), zwischen beiden unterscheiden kann.

Jedoch bleibt die Frage offen, inwiefern variierende Faktoren, wie Größe, Alter und Geschlecht, innerhalb der Beute- bzw. Jägerpopulation Auswirkungen auf die Beziehung zwischen ihnen haben und ob auch hier die Fähigkeit zur Unterscheidung besteht. Von besonderem Interesse ist die Relevanz der Größenverhältnisse, da beobachtet wurde, dass größere Individuen von *P. maximus*

gemeinsam mit ihrem Fressfeind *A. rubens* in einem Aquarium gehalten wurden, ohne Anzeichen einer Fluchtreaktion zu zeigen. Daraus ließe sich folgern, dass aufgrund des geringen Größenunterschieds zwischen Räuber und Beute keine potenzielle Bedrohung für größere *P. maximus* besteht. Im Gegensatz dazu wird erwartet, dass kleinere Individuen größerem Räuberdruck ausgesetzt sind und daher häufig auf die Anwesenheit von *A. rubens* mit Flucht reagieren. Desweiteren wird angenommen, dass, wenn eine Reaktion stattfindet, kleine *P. maximus* unabhängig von der Räubergröße reagieren, wohingegen große *P. maximus* nur auf große Organismen reagieren. Mit der folgenden Untersuchung soll aufgezeigt werden, ob sich die Reaktion zweier verschiedener Pilgermuschelgrößen-Kategorien auf unterschiedlich große Seesterne unterscheidet.

Material & Methoden

Das Experiment wurde im Sven Lovén Centre for Marine Sciences auf der Insel Tjärnö in Schweden vom 27.09.2010-29.09.2010 durchgeführt. Der Versuch fand unter Laborbedingungen statt, um die Interaktion zwischen den beiden Organismen in den Fokus zu stellen und andere Variablen, wie Temperatur, circadiane Rhythmen oder Interaktionen mit anderen Organismen, auszuschließen. Die verwendeten Tiere wurden in vier Kategorien nach Größenklassen eingeteilt. Die 13 verwendeten Individuen von *P. maximus* wurden in zwei Größenklassen unterteilt. Drei kleine Vertreter von 3 cm–7 cm und zehn größere ab 7 cm. Die Größe wurde über den Abstand zwischen dem Mittelpunkt beider Ohren und der äußeren Kante der linken Schalenhälfte bestimmt (Abb. 2). Mit jedem Tier wurden sechs Versuchsreihen durchgeführt. Die ausgewählten Räuber, *A. rubens*, wurden ebenfalls in zwei Größenklassen eingeteilt, wobei hier die Größe zwischen der Armachsel oberhalb der Madreporenplatte und dem Ende des gegenüberliegenden Arms gemessen wurde (Abb. 3). Tiere der Größe von 3 cm bis 6,5 cm wurden als „klein“ kategorisiert, Tiere, deren Maße darüber lagen, als „groß“. Für jeden Durchlauf wurde ein neues Tier verwendet, insgesamt also 78 Individuen.



Abb. 2: Messung der Muschelgröße. Die Messpunkte sind der Mittelpunkt beider Ohren und der am weitesten entfernte Punkt auf der äußeren Kante der linken Schalenhälfte.

Beide Beutetiergrößenkategorien wurden mit beiden Räubergrößenkategorien getestet. So wurde jedes Individuum der kleinen oder der großen *P. maximus* mit jeweils einem großen oder einem kleinen Vertreter von *A. rubens* zusammengeführt. Es ergaben sich insgesamt vier Kombinationsmöglichkeiten.

Die Versuchstiere wurden unterschiedlichen Bedingungen entnommen. Drei *P. maximus* stammten aus dem Kosterfjord vor Tjärnö (Schweden, 58° 52' N, 11° 6' O) und wurden mit einer Dresche zwei Tage vor dem Versuch in ca. 25 m Tiefe gefangen und von da an in einem Aquarium gehalten, das kontinuierlich mit frischem, gefiltertem Meeresswasser aus 40 m Tiefe durchströmt wurde. Die restlichen zehn Tiere wurden bereits über einen längeren Zeitraum in Aquarien unter den oben beschriebenen Bedingungen gehalten. Acht Tiere stammten aus einem Aquarium, in dem sich keine Räuber befanden, und zwei Tiere aus einem, dass sie zusammen mit Vertretern von *A. rubens* bewohnten. Auch diese Tiere wurden einen Tag vor Versuchsbeginn in gesonderte Aquarien umgesiedelt (Abb. 4). Alle unterschiedlichen Gruppen wurden getrennt gehalten. Geschlecht und Alter der Tiere wurde nicht beachtet. Bedingung war nur,

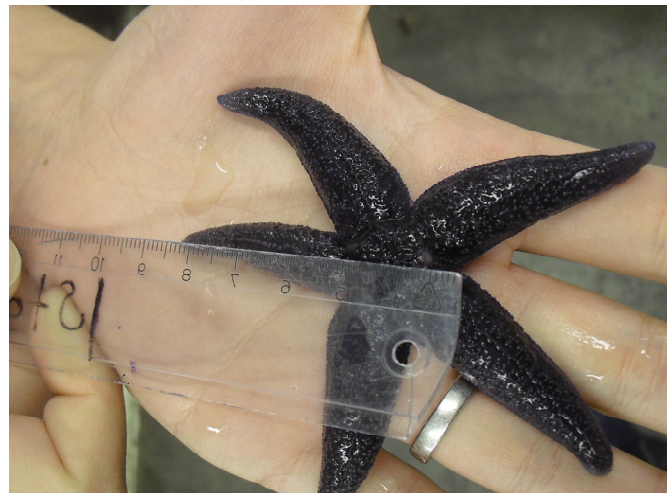


Abb. 3: Messung der Seesterngröße. Die Referenzpunkte sind der Einschnitt über der Madreporenplatte und die Spitze des gegenüberliegenden Arms.

dass die Muscheln das Entwicklungsstadium, in dem sie mit Byssusfäden am Boden verankert sind, überschritten hatten und sich frei auf dem Benthos bewegen konnten. Die verwendeten Seesterne wurden ebenfalls verschiedenen Bedingungen entnommen. Während 26 Tiere im Kosterfjord gefangen wurden, stammten die übrigen 52 Tiere aus Aquarien. Die im Kosterfjord gesammelten Tiere wurden als Kontrolle verwendet, um ein verändertes Verhalten der in Gefangenschaft lebenden Tiere auszuschließen. Die beiden Gruppen wurden getrennt und unter den gleichen Bedingungen wie die Beutetiere gehalten.

Für die Durchführung der Versuche wurde jeweils eine Muschel auf einen zuvor definierten Punkt in der Mitte einer 67x52x10 (in cm) großen Plastikbox gesetzt, die mit frischem, gefilterten Tiefenmeerwasser gefüllt war. Die gleiche Wasserquelle wurde auch für die oben genannten Aquarien

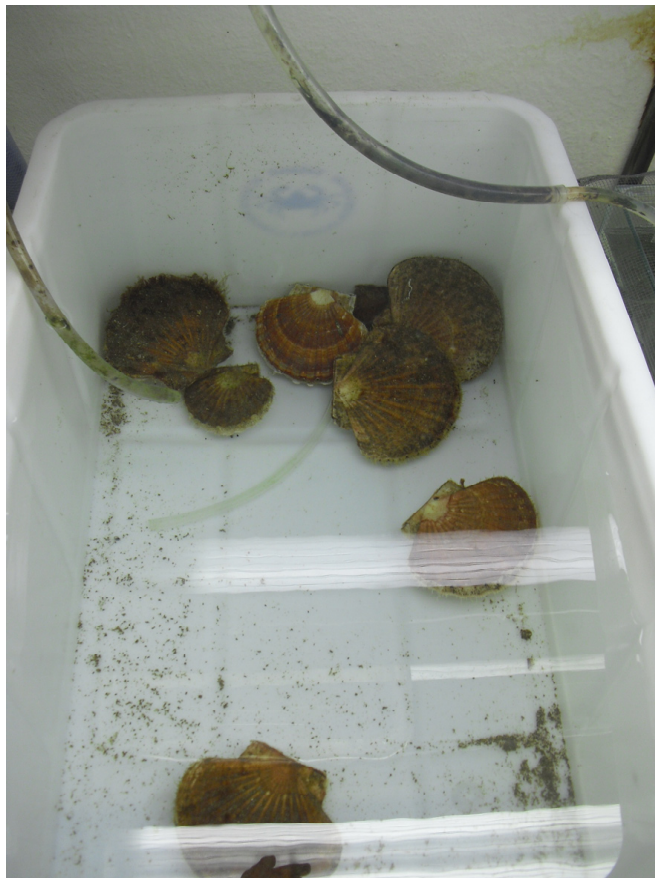


Abb. 4: Haltung der Versuchsobjekte. Acht Individuen von *P. maximus*, wurden für die Versuchsdauer separiert in einer mit Meereswasser gefüllten Box gehalten.

verwendet.

Nach dem Umsetzen in die Plastikbox wurde jeder Muschel 15 min Zeit gegeben, um sich an die neuen äußeren Umstände zu gewöhnen. Jeder Seestern wurde vor dem Versuch für 15 min in eine kleine Plastikschale gesetzt, gefüllt mit Wasser aus der gleichen Wasserquelle der Versuchstiere (Abb. 5). Nach Ablauf der Eingewöhnungszeit wurde der Vertreter von *A. rubens* in unmittelbarer Nähe von *P. maximus* in das Becken gesetzt und beobachtet, ob eine Fluchtreaktion von *P. maximus* ausgelöst wird. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich die Versuchstiere vor dem Beginn des Durchlaufes nicht berührten. So sollte überprüft werden, ob eine Reaktion der Muschel auch ohne mechanische Stimulation ausgelöst wird. Nach dem Ende jedes Versuches wurden alle Versuchsaufbauten geleert, ausgespült und mit neuem Wasser gefüllt.

Eine Reaktion ist als positiv definiert, wenn innerhalb von einer Minute nach Zusetzen des Räubers eine eindeutige Taxis in Form von einer Schwimmbewegung nachzuweisen ist. Als negativ gilt sie, wenn sie außerhalb des Zeitlimits erfolgt oder ausbleibt und keine Fortbewegung stattfindet. Kam es innerhalb einer Minute zu keiner Berührung zwischen *P. maximus* und *A. rubens* und auch zu keiner

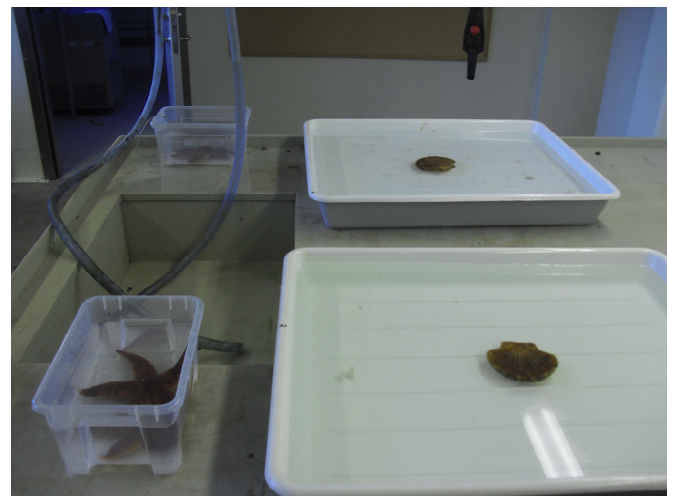


Abb. 5: Versuchsaufbau. Zwei Versuche parallel. Eine Muschel wurde für 15 min in das Versuchsbecken gesetzt, bevor ein Individuum von *A. rubens* hinzugefügt wurde.

Tabelle 1: Reaktionszeiten aller Versuchsdurchführungen. Verwendete Individuen von *P. maximus* aufgelistet nach Größe.

Muschel 4 8,4cm	4,3 n	+	5
	4,7 n	+	3,05
	5,8 p		0,16
	6,7 n	+	5
	14 p		0,1
Muschel 5 8,6cm Meer	14,5 p		0,31
	3,9 p		0,11
	5 p		0,52
	5,9 n		5
	6,5 p	+	1,46
Muschel 6 9,1cm	13,5 p	+	0,09
	14,6 p		0,05
	4,3 n		5
	5 p		0,22
	5 p	+	1,15
Muschel 7 9,4cm	5,8 n	+	5
	8,2 n	+	5
	11,3 p	+	0,18
	3,4 n		5
	5,6 p	+	1,11
Muschel 11 10,3cm	5,6 n	+	5
	6,7 p	+	1,25
	11,4 n		5
	14,5 n		5
	14,5 n		5

Muschel 11 10,3cm	4,8 n	+	5
	5 n		5
	7,2 n		5
	7,2 n	+	5
	7,5 n		5
Muschel 12 10,4cm	13 n		5
	5,3 n	+	5
	5,7 n	+	5
	8,5 n		5
	11,4 n	+	5
Muschel 13 10,9cm Meer	13 n		5
	14,7 n		5
	4,7 n		5
	5,3 n		5
	6,5 p	+	1,1
Muschel 13 10,9cm Meer	7 p	+	1,3
	10,9 p		1
	13,2 n	+	5

Legende: negative Reaktion = n
positive Reaktion = p
Eingriff = +
Meer = Muscheln aus dem Kosterfjord
Seesternaquarium = wurden zusammen mit *A. rubens* gehalten

Reaktion aufgrund eines chemischen Reizes, wurde eingegriffen und ein körperlicher Kontakt zwischen *A. rubens* und *P. maximus* hergestellt. Der Eingriff wurde notiert und es wurde erneut eine Minute Reaktionszeitraum gegeben. Insgesamt wurde jeder Versuch 5 Minuten beobachtet. Zwischen den Versuchsreihen der unterschiedlichen Kombinationen lag ein Zeitabstand von mindestens drei Stunden, um mögliche stressbedingte Reaktionsänderungen zu vermeiden. Die Reaktionszeit wurde mit Hilfe einer Stoppuhr dokumentiert (Tab. 1). Insgesamt wurden 78 Versuche in drei Tagen durchgeführt, wobei immer zwei Versuche parallel erfolgten. Die Versuche wurden mit Hilfe des χ^2 -Test in Microsoft Excel ausgewertet.

Ergebnisse

Auswertung Kombination kleine Muschel mit kleinen und großen Seesternen

Muscheln 1-3 fallen unter die Kategorie „kleine Muschel“, da sie Messwerte von 3,4 cm bis 6,7 cm zeigen (Tab. 1). Jedes Individuum wurde sechsmal

getestet. Muschel 1 wurde aus dem Meer entnommen. Die beiden anderen entstammten dem Aquarium ohne Seesterne. Die getesteten *A. rubens* lagen in einem Größenbereich zwischen 3,4 cm und 14,5 cm. Die Versuche zeigten, dass in 15 von 18 Durchläufen eine Fluchtreaktion der Muschel innerhalb einer Minute erfolgte. Dabei wurden kleine Vertreter von *P. maximus* achtmal auf einen kleinen Vertreter von *A. rubens* getestet, wobei in sieben Fällen eine Fluchtreaktion gemessen werden konnte. Das entspricht einer Reaktionshäufigkeit von 87,5% (Tab. 2.). Die durchschnittliche Reaktionszeit betrug 0,24 min. In einer anderen Versuchsreihe wurden kleine Vertreter von *P. maximus* zehnmal mit großen Seesternen getestet, wobei in sieben Durchgängen eine Fluchtreaktion registriert werden konnte. Dies entspricht einer Reaktionshäufigkeit von 70% (Tab. 2). Die mittlere Reaktionszeit betrug 0,37 min. Der Vergleich der Reaktionshäufigkeit von kleinen *P. maximus* auf kleine oder auf große Seesterne kann keinen signifikanten Unterschied aufzeigen ($p=0,16$) (Tab. 2).

Bei drei Versuchen erfolgte nach innerhalb der

Tabelle 2: Reaktionshäufigkeit und mittlere Reaktionsgeschwindigkeit von kleinen und großen *Pecten maximus* auf kleine oder große *Asterias rubens*. hs: hochsignifikant. ns: nicht signifikant.

	Seesterngröße in cm							
Muschel Größe in cm		kleiner Seestern 3– 6,5			großer Seestern >6,5		Irrtums- wahrscheinlichkeit <u>p< 0,05</u> (χ^2 -Test)	
	Anzahl Versuc he	Reaktions häufigkeit absolut (%)	mittlere Reaktionszeit in s	Anzahl Versuche	Reaktions häufigkeit absolut (%)	mittlere Reaktionszeit in s		
	kleine Muschel 3-7	8	7 (87,5)	0,24	10	7 (70)	0,37	> 0,05 (ns)
	große Muschel >7	26	8 (30,77)	0,46	34	11 (32,35)	0,31	> 0,05 (ns)
<u>Irrtums- wahrschein- lichkeit p</u> (χ^2 -Test)		< 0,01 (hs)			< 0,01 (hs)			

ersten 5 min keine Reaktion, weshalb ein „Eingriff“ vorgenommen wurde. Innerhalb der Kategorie „kleine Muschel“ wurde siebenmal eingegriffen, um einen direkten Kontakt zwischen Muschel und Seestern herzustellen. Fünf dieser sieben Eingriffe resultierten dann in einer positiven Reaktion der Muschel.

Auswertung Kombination große Muschel mit kleinen und großen Seesternen

Alle zehn Individuen von *P. maximus*, von einer Größe zwischen 8,3 cm und 10,9 cm wurden sechsmal getestet. Die Muscheln Nummer 5 und 13 wurden aus dem Meer entnommen, Muscheln 8 und 10 aus dem Seesternbecken. Die anderen sechs Individuen kamen aus dem Becken ohne Seesterne. Von 60 Versuchen mit kleinen sowie großen Seesternen wurde bei 19 eine positive Reaktion gemessen. Große Vertreter von *P. maximus* wurden 26-mal mit kleinen Vertretern von *A. rubens* getestet, wobei in acht Fällen eine Fluchtreaktion registriert wurde. Das entspricht

einer Reaktionshäufigkeit von 30,77 % (Tab.2). Die Reaktion erfolgte durchschnittlich innerhalb von 0,46 min. In der zweiten Versuchsreihe wurden große Vertreter von *P. maximus* 34-mal mit großen Vertretern von *A. rubens* getestet. In elf Durchgängen konnte eine Fluchtreaktion gemessen werden, was einer Reaktionshäufigkeit von 32,35% entspricht. Die durchschnittliche Reaktionszeit betrug 0,31 min. Die Reaktionshäufigkeit von großen *P. maximus* auf kleine oder große Seesterne zeigt keinen signifikanten Unterschied (p= 0,84) (Tab. 2).

Insgesamt wurde bei 33 Versuchen mit großen Muscheln nach Ablauf einer Minute eingegriffen und direkter Kontakt zwischen Muschel und Seestern hergestellt, woraufhin zehn positive Ergebnisse messbar waren.

Vergleich der Reaktionen

Zwischen der Reaktionshäufigkeit kleiner Individuen von *P. maximus* auf kleine Vertreter von *A. rubens* und der Reaktionshäufigkeit von großen

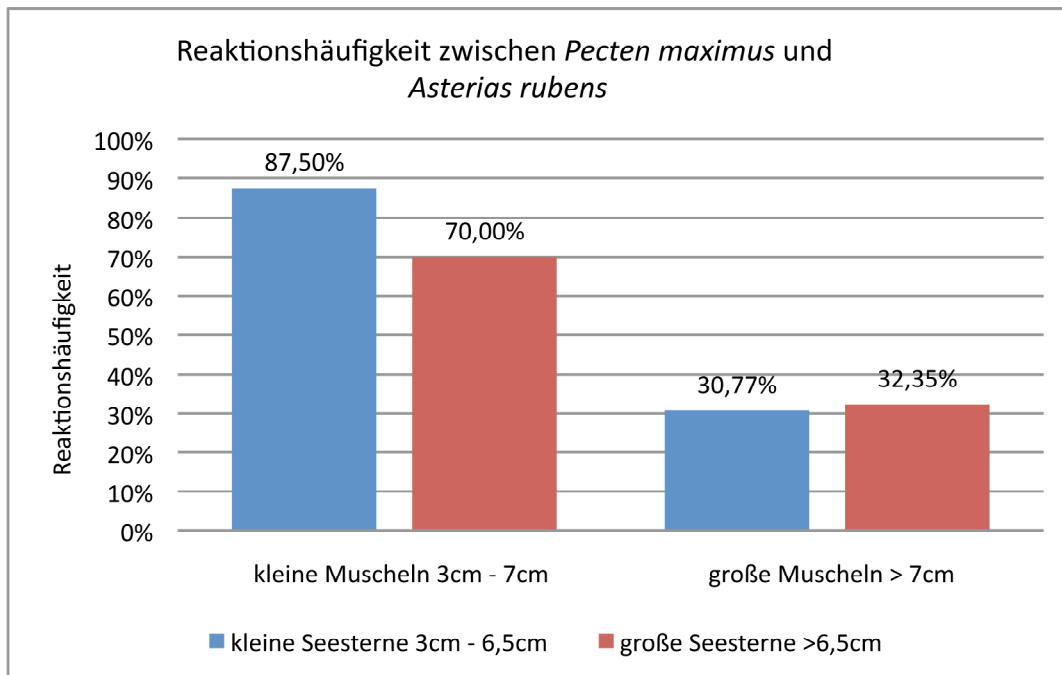


Abb. 6: Reaktionshäufigkeit kleiner und großer Vertreter von *P. maximus* auf kleine und große Vertreter von *A. rubens* in %. Die Reaktionsunterschiede zwischen Muscheln verschiedener Größenkategorien sind signifikant (siehe Tab. 2). Die Größe der Seesterne spielt keine signifikante Rolle.

Vertretern von *P. maximus* auf kleine Individuen von *A. rubens* wurde ein signifikanter Unterschied festgestellt ($p \leq 0,01$). Kleine Vertreter von *P. maximus* reagieren signifikant häufiger auf kleine *A. rubens* als große (87,5% zu 30,77%) (Abb. 6) (Tab. 2).

Zwischen der Reaktionshäufigkeit von kleinen Individuen von *P. maximus* und großen Individuen von *P. maximus* auf große Vertreter von *A. rubens* besteht ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,01$). Kleine Muscheln reagieren häufiger als große Vertreter von *P. maximus* auf große Vertreter von *A. rubens* (70% zu 32,35%) (Abb. 6) (Tab. 2).

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass die anfängliche Hypothese angenommen werden kann. Mit zunehmender Muschelgröße sinkt die Reaktionshäufigkeit. Allein die Körpergröße von *Pecten maximus* ist ausschlaggebend für das Auftreten einer Fluchtreaktion. Die Vermutung, dass große Muscheln nur auf große Räuber reagieren, wurde

widerlegt.

Kleinere Individuen sind aufgrund der geringeren Größe einem stärkeren Räuberdruck ausgesetzt (Barbeau & Scheibling, 1994) und reagieren entsprechend auf die Anwesenheit von *Asterias rubens*.

Die geringere Reaktionshäufigkeit größerer Muscheln auf Seesterne jeder Größe kann durch das höhere Alter und dem daraus folgenden häufigeren Kontakt mit dem Räuber erklärt werden (Remy et al., 1998). Demzufolge könnten die Muscheln erlernt haben, dass sie ab einer bestimmten Körpergröße als Beutetier nicht mehr interessant sind. Das ist ein häufig beobachtetes Phänomen in Räuber-Beute-Beziehungen. So ist bekannt, dass die Mortalitätsrate bei vielen marinen Invertebraten im Larvenstadium am höchsten ist (Gosselin & Qian, 1997). Auch für die Pectinidae wurde am Beispiel von *Placopecten magellanicus* gezeigt, dass kleinere Vertreter von Seesternen als Beutetier präferiert werden (Barbeau & Scheibling, 1994).



Abb. 7: Intensiver Kontakt von *A. rubens* und *P. maximus*. Die Ambulakralfüßchen dringen in die Mantelhöhle von *P. maximus* ein.

Eine weiterer Ansatz, um die Reaktionsträgheit älterer Adulti von *P. maximus* zu erklären, ist eine negative Kosten-Nutzen-Analyse, bei der die Muschel unnötige Bewegungen und den damit einhergehenden Energieverbrauch zu vermeiden versucht (Thomas & Gruffydd, 1971).

In den Versuchen konnte keine Abhängigkeit von Haltungs- und Lebensbedingungen der Räuber und Reaktionshäufigkeit von *P. maximus* festgestellt werden. Das heißt, dass die Seesterne, die aus dem Kosterfjord entnommen wurden, nicht mehr oder weniger Reaktionen auslösten als die, die dem Aquarium entnommen wurden. Auffällig ist allerdings, dass die Muscheln 8 und 10, die schon längere Zeit ein Aquarium gemeinsam mit *A. rubens* bewohnen, deutlich weniger häufig und auch deutlich langsamer auf den Kontakt mit dem Räuber reagierten. Dies könnte auf eine Form von Habituation beziehungsweise Desensibilisierung der Individuen schließen lassen. Außerdem werden diese Seesterne in regelmäßigen Abständen vom Laborpersonal gefüttert, wodurch der Fraßdruck auf *P. maximus* minimiert wird. Zur Prüfung der

oben genannten Beobachtung bedarf es allerdings weiterer Versuchsreihen mit mehreren Versuchstieren. Deutlich wurde auch, dass 77,7% der durchgeführten Versuche mit den Muscheln, die im Meer gefangen wurden, positiv ausfielen. Da sie erst vor kurzem ihrem natürlichen Lebensraum entnommen wurden, zeigen diese vermutlich natürlicheres Verhalten als die anderen Versuchstiere. Dies könnte in weiteren Versuchen quantifiziert werden.

Die Hypothese, dass große *P. maximus* nur auf große Seesterne reagieren, weil kleine Individuen von *A. rubens* nicht in der Lage sind, große *P. maximus* zu fressen, konnte widerlegt werden. Diese Studie konnte zeigen, dass große Pilgermuscheln zwar seltener auf die Anwesenheit von Seesternen reagieren, aber wenn, dann unabhängig von der Seesterngröße. Möglicherweise steht dies in Zusammenhang mit der Beobachtung, dass die Intensität des Kontaktes ausschlaggebend war, ob eine Reaktion ausgelöst wurde. So tasteten beispielsweise einige Seesterne die obere Schale der Muschel ab, während andere mit ihren Ambulakralfüßchen in die Mantelhöhle eindringen (Abb. 7). Letzteres löste wesentlich schneller eine Fluchtreaktion aus. Um jedoch signifikante Aussagen treffen zu können, sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

Entgegen früheren Beobachtungen von Land (1966), kann festgehalten werden, dass keine Fluchtreaktionen messbar waren, wenn kein direkter Kontakt zwischen Räuber und Beute bestand.

Literatur

- Barbeau, M.A., Scheibling, R.E. (1994): Behavioral mechanisms of prey size selection by sea stars (*Asterias Vulgaris* verrill) and crabs (*Cancer irroratus* say) preying on juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus* (Gmelin)). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 180: 103-136.
- Dance, S.P. (1976): The shell collectors guide, an introduc-

tion to the world of shells, London: Cameron & Tayleur.

Gosselin, L.A., Qian, P.Y. (1997): Juvenile mortality in benthic marine invertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 146: 265-282.

Hutson et al. (2005): Australian scallops do not recognise the introduced predatory seastar *Asterias amurensis*. *Marine Ecology Progress Series*, 298: 305–309.

Land, M.F. (1966): Activity in the optic nerve of *Pecten maximus* in response to changes in light intensity and to parterre and movements in the optical environment. *Journal of Experimental Biology*, 45: 83-99.

Phillips, D. W. (1978): Chemical mediation of invertebrate defensive behaviours and the ability to distinguish between foraging and inactive predators. *Marine Biology*, 49: 237–243.

Remy, R. et al. (1998): Chemically-mediated predator-recognition learning in a marine gastropod. *Ecoscience*, 5: 353–360.

Thomas, G.E., Gruffydd, L.I.D. (1971): The types of escape responses elicited in the scallop *Pecten maximus* by selected seastar species. *Marine Biology*, 10: 87–93.

Thomas, G.E., Himmelman, J.H. (1988): Influence of predation on shell morphology of *Buccinum undatum* L. on the Atlantic coast of Canada. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 115: 221–236.

Vermeij, G.J. (1987): *Evolution and escalation: an ecological history of life*, Princeton: Princeton University Press.

Wilkins, L.A. (1991): Neurobiology and behaviour of the scallop. In: *Scallops: biology, ecology and aquaculture* (ed. S.E. Shumway), pp. 429–469. Amsterdam: Elsevier.

Zum Umdrehverhalten der Asteroidea am Beispiel von *Asterias rubens*, *Marthasterias glacialis* und *Crossaster papposus*

Analysis of the turning behaviour of Asteroidea exemplified by *Asterias rubens*, *Marthasterias glacialis*, and *Crossaster papposus*

Mathesius, Sabrina: mathesius@t-online.de

Schuppe, Esther: esther.schuppe@arcor.de

Wakendorf, Anja: anja.wakendorf@gmail.com

Abstract

Asteroidea are pentaradial echinoderms with an oral-aboral body axis. The madreporite, situated in the first interradius is connected to the axial complex, the stone canal, and the hydrocoelic canals. Because of the physiological importance of this system we hypothesized that the turning behaviour of the sea stars *Asterias rubens*, *Marthasterias glacialis*, and *Crossaster papposus* is not randomly distributed across the different arms but that a relation to the first interradius exists. Using video analysis, we could document a complex succession of the arms, which can differ within a species and moreover, within an individual. At the beginning of each turning move, two radials laying next to each other get in contact with the substratum. The succession of the arms of *C. papposus* is more variable compared to the studied Asteroidea. Often the “tulip-form” is realized in *C. papposus*, where all radials are turned towards each other before the onset of the turning movement proper. For *A. rubens* and *M. glacialis* there was no significant aberration from a random pattern regarding the first interradius. In contrast, *C. papposus* turned significantly more often over the quarter containing the madreporite and first interradius than could be expected in a random distribution. This correlates with the more complex behaviour in this species and the occurrence of the “tulip-form”. We discuss the possibilities that differences in regeneration ability or sensory integration might be responsible for this divergence.

Einleitung

Wie bei fast allen vielzelligen Organismen der Tierwelt, hat sich auch bei den Asteroidea das Bestreben etabliert, die für sie als normal angesehene Lage im Raum einzunehmen (MANGOLD, 1921). Der Umdrehreflex ist für die

Tiere, welche in allen Bereichen des marinen Benthals von der Gezeitenzone bis zur Tiefsee vorkommen, von zentraler Bedeutung (WESTHEIDE & RIEGER, 2007). Werden sie beispielsweise durch Wellen vom Substrat gelockert und sinken mit der Rückenseite voran zu Boden, müssen sie in

der Lage sein, sich möglichst schnell wieder in die Dorsoventrallage zu bringen. Zum einen, um die notwendige Bewegungsfreiheit wiederzuerlangen und nicht von anderen gefressen zu werden und zum anderen, um Gebiete mit günstigen Lebensbedingungen aufzusuchen (MANGOLD, 1921; MOORE, 1911). In der Forschung wurden mögliche Gründe für das Umdrehverhalten von Asteroidea diskutiert (FRAENKEL, 1928).

PREYER (1886) kommt zu dem Schluss, dass die Umdrehbewegung durch Muskel- und Innervationsgefühl ausgelöst wird. Eine ähnliche Sichtweise wird von JENNINGS (1907) vertreten, der die Unmöglichkeit der Fortbewegung und die Verlagerung der inneren Organe als Ursache für die Drehbewegung sieht. MOOR (1911) und MANGOLD (1921) sind der Auffassung, dass die Umdrehbewegung durch eine mechanische Reizung der Rückenhaul ausgelöst wird. Jedoch konnte WOLF (1925) durch seine Untersuchung zeigen, dass sich auch bei Tieren ohne Rückenhaul eine Drehung vollzieht, wenn auch gegenüber intakten Tieren verlangsamt. Demnach ist die Annahme von MOOR und MANGOLD widerlegt.

In dieser Arbeit wurde untersucht, ob sich eine Präferenz der Armbewegungen während der Drehbewegung aus der oralen Seite hinaus nachweisen lässt. Hierbei wurde davon ausgegangen, dass sich Asteroidea signifikant häufiger über die Madreporenplatte, das heißt die Radiale I und V, drehen. Diese Vermutung stützt sich auf die herausragende Bedeutung dieser Struktur (FERGUSON, 1984). Der perizentrale Steinkanal verbindet Ringkanal und Radiärkanäle des Ambulacralsystems über die Madreporenplatte mit der Außenwelt. Weiterhin wurde erwartet, dass innerhalb einer Art keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Armabfolge während der Drehbewegung

auftreten. Untersucht wurden die Seesternarten *Asterias rubens*, *Marthasterias glacialis* und *Crossaster papposus*. Weiter wurde geprüft, ob zeitliche Unterschiede bei der Drehbewegung der einzelnen Arten festgestellt werden können, indem Bezug auf die Körpergröße und Radialenanzahl genommen wurde. Zu vermuten war, dass *C. papposus* sich aufgrund des höheren Koordinierungsbedarfs der Radiale langsamer dreht.

Material und Methoden

Das Umdrehverhalten der drei Asteroidea-Arten *A. rubens* (AR), *M. glacialis* (MG) und *C. papposus* (CP) wurde im Rahmen einer Beobachtungsstudie vom 27. bis 30. September 2010 an der Feldstation der Universitäten Göteborg und Stockholm im Meeresbiologischen Institut (Sven Loven Centre) erforscht. Nachdem die jeweils 30 Individuen gefangen wurden (Fundorte: AR 58° 52' N, 11° 08' O; 0,5 – 1 m Wassertiefe / MG 58° 53' N, 11° 05' O; 7-20 m Wassertiefe / CP Aquarienhaltung des Schauaquariums des Sven Loven Centres), wurden sie nach Arten separiert mindestens zwei Tage mit ausreichendem Nahrungsangebot in einem Aquarium mit Meerwasserdurchfluss aus 40 m Tiefe gehalten. Der Versuchsaufbau bestand aus einem 45-Liter-Aquarium. Zur Auswertung der detaillierten Bewegungsabfolgen wurden die Drehbewegungen von *C. papposus* mit einer Videokamera aufgezeichnet (Canon Legria HF5 21).

Jeder Seestern wurde ohne spezifische Lageausrichtung mit der oralen Seite nach oben auf die Wasseroberfläche gelegt und sank selbstständig auf den Boden des Aquariums. Die Latenzzeit bis zum Beginn der Drehbewegung wurde ebenso dokumentiert wie die Gesamtzeit des Ablaufs. Es wurde beobachtet, mit welchen Radien die Individuen den Umdrehmechanismus beginnen und in welcher Reihenfolge diese auf dem Boden aufsetzen, so dass eine Drehung auf die orale Seite stattfindet. Besonderes Augenmerk wurde dabei darauf gelegt, welche Radien als Hauptstützarme benutzt wurden. Als Hauptstützarme seien die Radialen definiert, welche sich während des Drehprozesses nicht nach

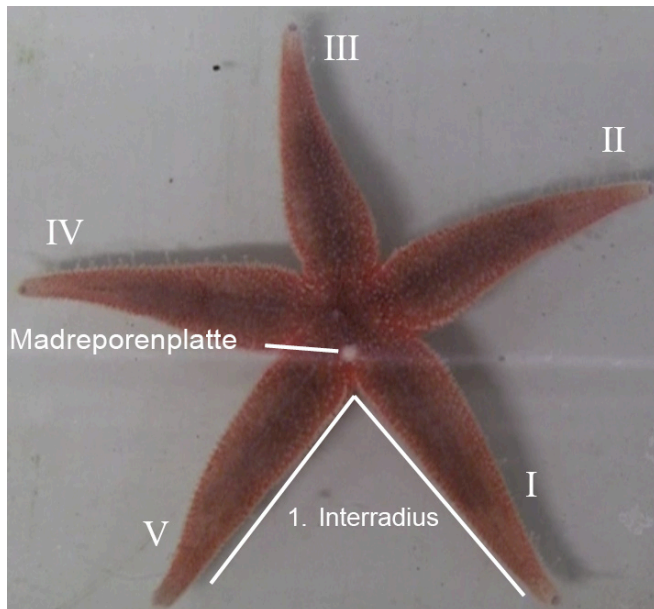


Abb. 1: Bezeichnung der Radiale für *Asterias rubens* und *Marthasterias glacialis* einschließlich Kennzeichnung der Madreporenplatte und des 1. Interradius.

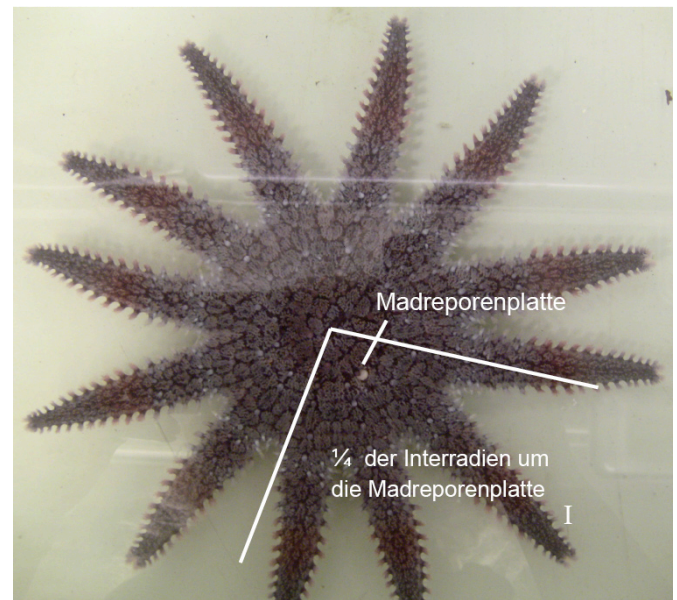


Abb. 2: Bezeichnung der Radiale für *Crossaster papposus*. Einschließlich Kennzeichnung des Interradienviertels, welches die Madreporenplatte einschließt.

oben bewegen und über die dabei gedreht wird. Zur Orientierung werden die Arme einheitlich von der Madreporenplatte ausgehend gegen den Uhrzeigersinn bezeichnet (Abb. 1).

Das Wasser wurde nach jedem Versuchsdurchlauf gewechselt. Während der Aufnahmen bestand keine Strömung im Aquarium und es herrschten durch die Deckenbeleuchtung unmittelbar über dem Versuchsbecken gleiche Lichtbedingungen auf allen Seiten vor.

Die erhobenen Daten wurden auf ihre Signifikanz hin mittels des χ^2 -Test ausgewertet, indem die Häufigkeitsverteilungen einer Drehung für *A. rubens* und *M. glacialis* über den 1. Interradius (Arm I und V als Stützarme) gegen die als Gesamtheit definierten anderen Interradien berechnet wurden. Für *C. papposus* wurde die Definition insofern erweitert, als dass das Viertel der Interradien betrachtet wurde, in welchem die Madreporenplatte liegt (Abb. 2). Die Dauer des Drehprozesses wurde gegen die Größe korreliert und die Latenzzeiten auf ihre artspezifische Aussagekraft hin betrachtet.

Ergebnisse

Alle drei untersuchten Seesterne-Arten drehten sich von der aboralen auf die orale Seite. Die Drehbewegung wurde sowohl durch

die Muskulatur der Arme als auch durch die Bewegung der Ambulacralfüßchen bewerkstelligt.

Nachdem die Seesterne durch die freie Wassersäule auf den Boden gesunken waren, setzte nach einer für alle Arten geringen Latenzzeit (AR: 1-15s; MG: 3-42s; CP: 5-80s) der Umdrehvorgang ein. Für die Asteriidae (*A. rubens* und *M. glacialis*) galt, dass zunächst zwei Arme so weit herum gedreht wurden, dass deren Ambulacralfüßchen den Untergrund berührten. Zum Umdrehen wurden hierbei als Bewegungsorgane neben den Ambulacralfüßchen die Längs- und Quermuskulatur verwendet. Im nächsten Schritt wurden die Radien weiter eingedreht, bis sich der Schwerpunkt des Körpers auf die Körpermitte verlagerte und gleichzeitig ein Radius oder zwei Radien nach oben gestreckt wurden. Die verbleibenden Arme wurden infolgedessen während der Überrollbewegung scheinbar passiv mit nach vorne bewegt, bis sie im letzten Schritt mit ihren Ambulacralfüßchen auf dem Substrat aufkamen. Hierbei können mannigfaltige Bewegungskombinationen der Arme auftreten (bspw. Abb. 3-7). Analysen in Bezug auf ein System innerhalb dieser Armabfolge ergaben, dass der 1. und 2. aufgesetzte Arm zu 97% bei *A. rubens* bzw. zu 87% bei *M. glacialis* nebeneinander liegen. Für den 4. und 5.

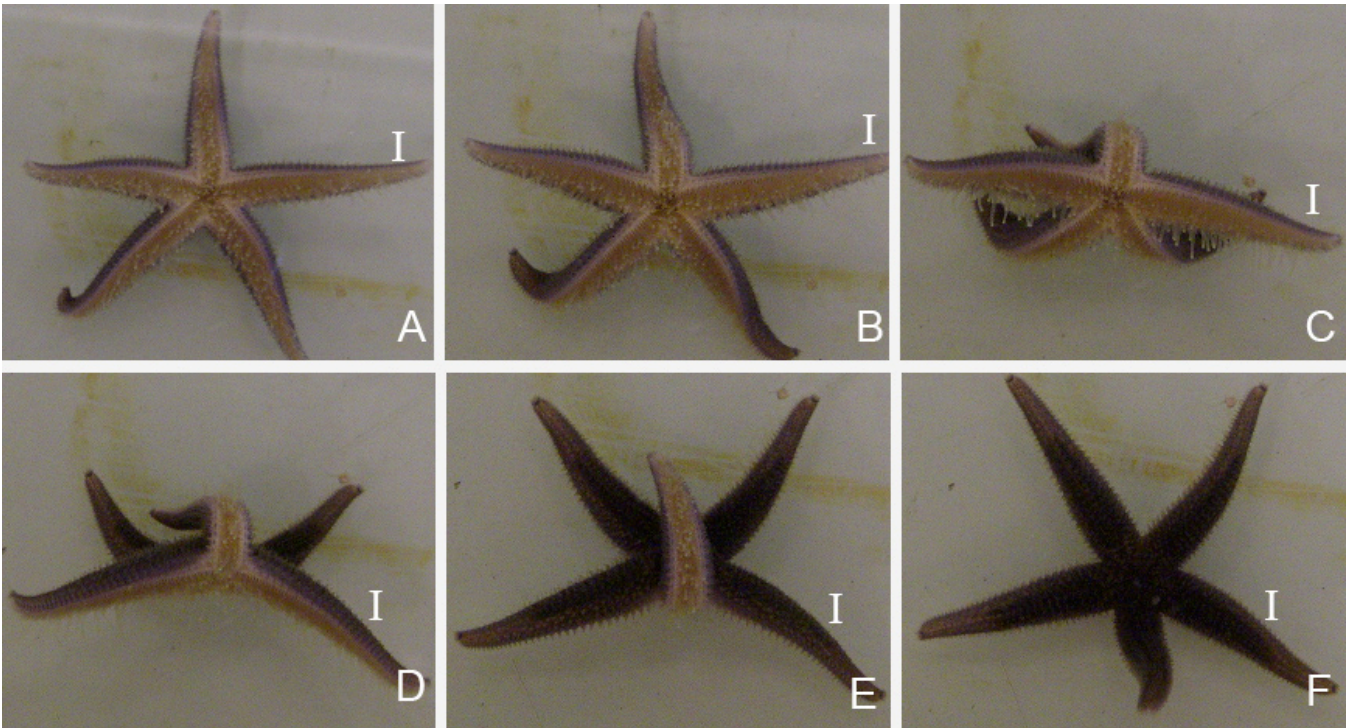


Abb. 3: Ablauf der Drehbewegung von *Asterias rubens* (AR_qa, 5,6 cm, Dauer: 38s); markiert ist die I. Radiale, II und III sind die Hauptstützarme, IV und I die Hebearme, Abfolge des Aufsetzens der Radiale: III – II – IV – I – V.

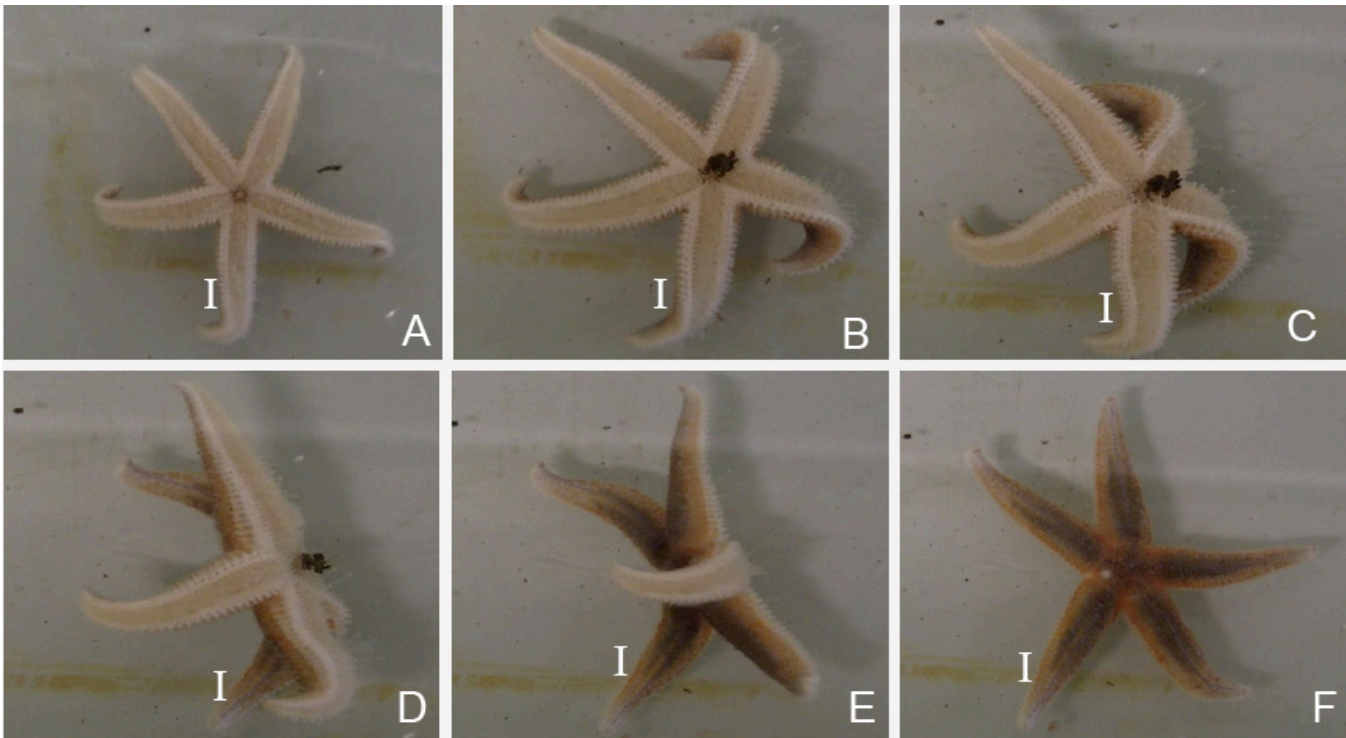


Abb. 4: Ablauf der Drehbewegung von *Asterias rubens* (AR_pa, 5,5 cm, Dauer: 61s); markiert ist die I. Radiale, V und I sind die Hauptstützarme, II und IV die Hebearme, Abfolge des Aufsetzens der Radiale: V – I – IV – II – III.

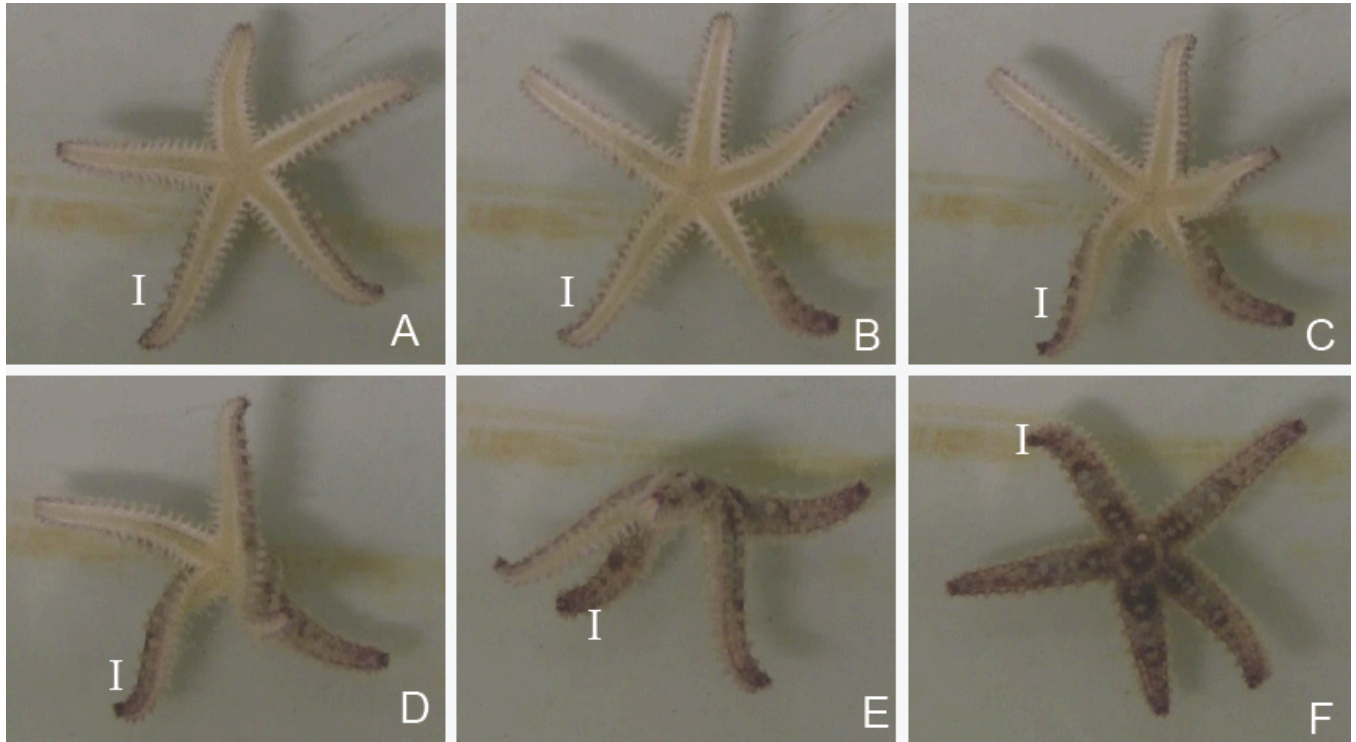


Abb. 5: Ablauf der Drehbewegung von *Marthasterias glacialis* (MG_cb, 2,7 cm, Dauer: 89 s); markiert ist die I. Radiale, V und I sind die Hauptstützarme, II und IV die Hebearme, Abfolge des Aufsetzens der Radiale: V – I – IV – II – III.

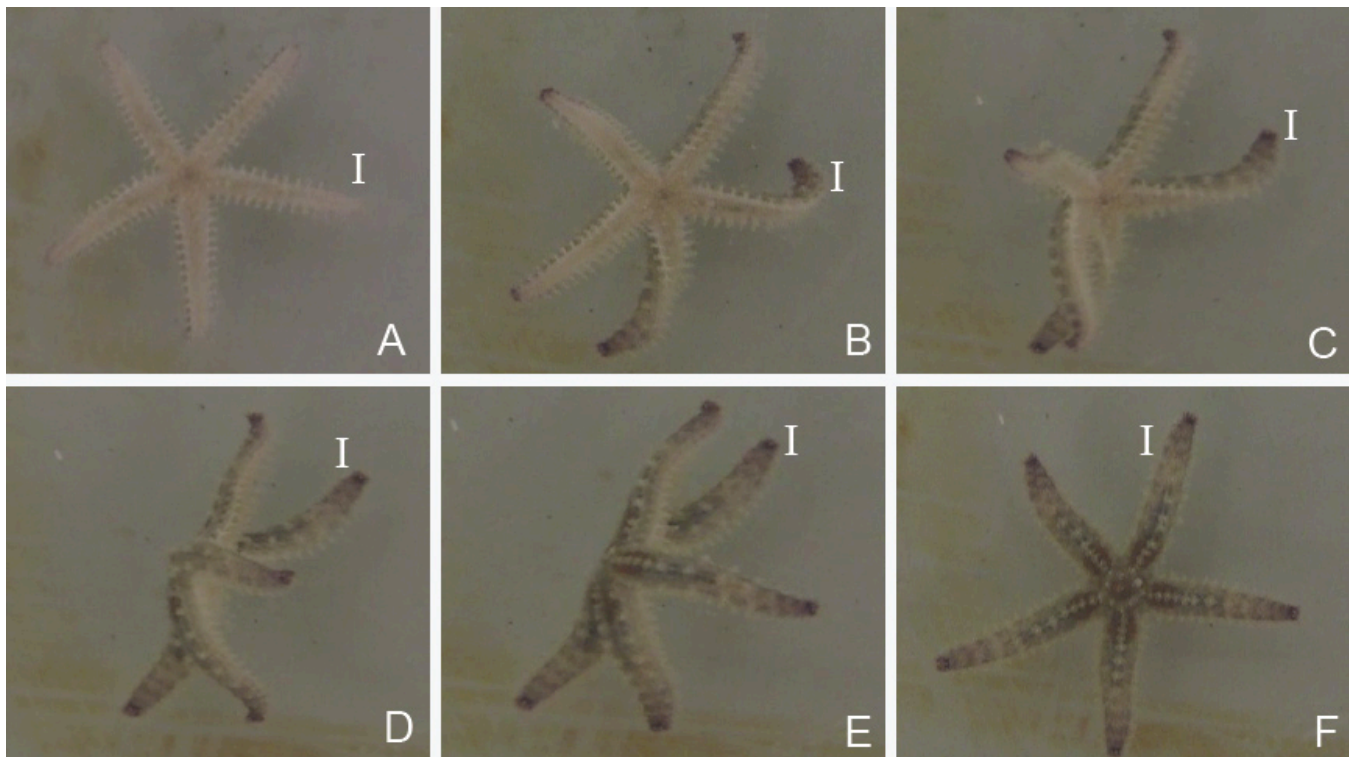


Abb. 6: Ablauf der Drehbewegung von *Marthasterias glacialis* (MG_ka, 2,3 cm, Dauer: 106 s); markiert ist die I. Radiale, IV und V sind die Hauptstützarme, II und I die Hebearme, Abfolge des Aufsetzens der Radiale: IV – V – III – I – II.

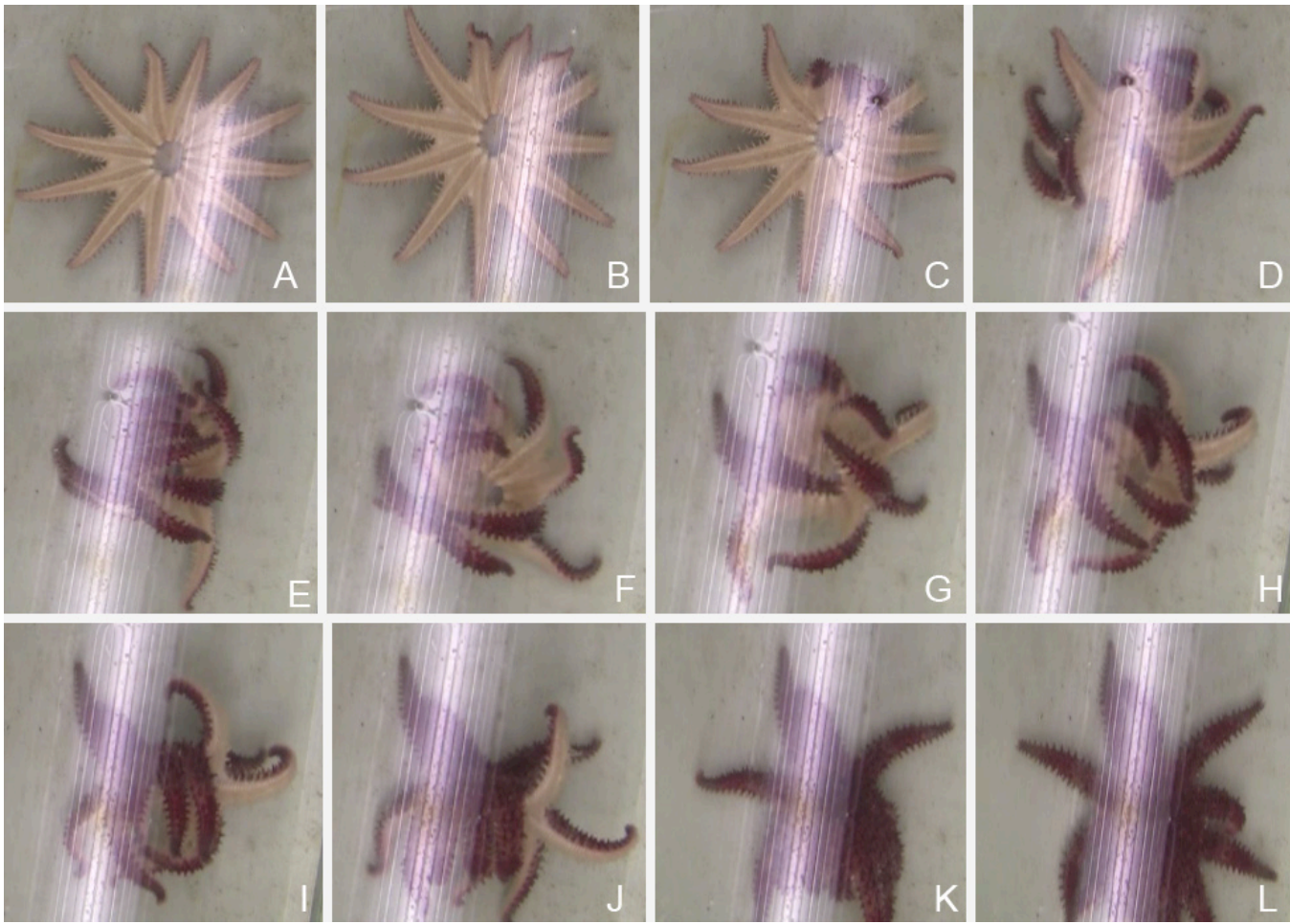


Abb. 7: Ablauf der Drehbewegung von *Crossaster papposus* (CP_{ja}, 19 cm, Dauer: 425s). Teilbild G zeigt die Tulpenform.

aufgesetzten Arm zeigt sich ebenfalls, dass sie zu einem Prozentsatz von über 90% nebeneinander liegen (Abb. 8).

Eine Präferenz des 1. Interradius als Lokalisation des Hauptstützarms konnte weder für *A. rubens* noch für *M. glacialis* festgestellt werden (Abb. 9), da die Verteilungen 8:22 ($\chi^2_{AR} = 0,84 < 3,84$) bzw. 2:28 ($\chi^2_{MG} = 3,3 < 3,84$) nicht signifikant von einer Zufallsverteilung bei einem Freiheitsgrad von 2 abweichen. Bemerkenswert ist, dass keine Kombination der Radiale I und IV bzw. II und V aufgezeichnet werden konnte.

Sowohl *A. rubens* als auch *M. glacialis* hoben das II., III. oder IV. Radiale signifikant häufiger als ersten Arm als zufällig zu erwarten gewesen wäre ($\chi^2_{AR} = 16,80 > 3,84$; $\chi^2_{MG} = 23,47 > 3,84$. Siehe Abb. 10).

Für *C. papposus* gestaltete sich die Definition der Hauptstützarme insofern schwierig, als dass mehr Arme diese Funktion ausführten.

Daher wurde die Überprüfung auf $\frac{1}{4}$ der Interradien erweitert. Dies liefert ein signifikantes Verteilungsergebnis von 13:17 ($\chi^2_{CP} = 10,20 > 3,84$) (Abb. 11). *C. papposus* unterscheidet sich in seinem Umdrehmechanismus von den Asteriidae. Es zeigte sich eine höhere Varianz der Radialbewegungen und –abfolgen, sodass es zum derzeitigen Zeitpunkt nicht möglich war, eine präferierte Armabfolge auszumachen. Besonders auffällig erschien jedoch eine Abfolge, die mehrfach zu beobachten war und als Tulpenform bezeichnet wird. Hierbei streckten sich $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ der Arme über den Körper zur Mitte hin, sodass sich die Armspitzen teilweise leicht berührten. Die restlichen Arme verblieben auf dem Substrat (Abb. 7G).

Ein linearer Zusammenhang zwischen der Größe der Versuchstiere und der Dauer der Drehbewegungen konnte für keine der untersuchten Seesternarten festgestellt werden (Tab. 1).

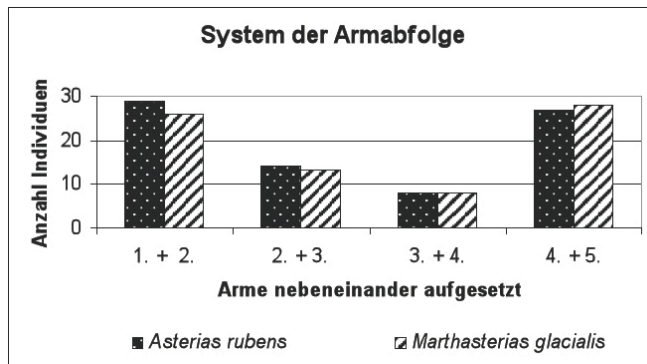


Abb. 8: System der Armabfolge im Bezug auf die nacheinander aufgesetzten Arme für *Asterias rubens* und *Marthasterias glacialis*.

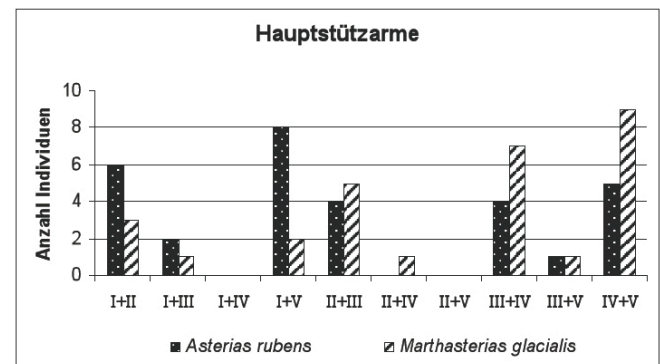


Abb. 9: Verteilung der Kombinationsmöglichkeiten der Hauptstützarme für *Asterias rubens* und *Marthasterias glacialis*.

Diskussion

Alle Versuchstiere zeigten das Bestreben, sich von der aboralen Seite auf die orale Seite zu drehen; womit sie bereits nach kurzer Latenzzeit nach dem Aufkommen auf dem Aquariumboden begannen. Dies verdeutlicht die enorme Relevanz jenes Verhaltens für den Organismus. Auffällig ist die vergleichsweise lange Dauer des gesamten Prozesses für *C. papposus*. Erklärungen hierfür könnten in der Körpergröße, erhöhten Armanzahl und kompakteren Form der Sonnensterne liegen (PREYER, 1886). Weitere Untersuchungen könnten ebenso Aufschluss darüber geben, in welcher Beziehung die besonders bei *C. papposus* angetroffene Tulpen-Form zu eben diesem Aspekt steht. Durch die längere Lage auf der aboralen Seite, ist der Organismus beispielsweise eine leichtere Beute für Feinde und könnte die Tulpen-Form als Schutzmechanismus anwenden. Ebenso ist die gegenseitige Berührung der Ambulacralfüßchen unter physiologischen Gesichtspunkten weiter in den Fokus zu rücken, um eventuelle Rückschlüsse auf den Beginn der Bewegungen, die zur eigentlichen Drehbewegung führen, zu ziehen. Generell ist für alle untersuchten Arten festzustellen, dass der Umdrehreflex unabhängig in den verschiedenen Armen beginnen kann (MANGOLD, 1921). Spezifische Auslösereize der Drehbewegungen wurden in dieser Studie nicht thematisiert und könnten ergänzende Forschungsfelder eröffnen, indem wie bei WOLF (1925) beschrieben Berührungsreiz, Lichtreiz und Schwerereiz auf ihre Relevanz hin geprüft werden.

Festzustellen ist, dass der Schutz der Madreporenplatte für die Drehbewegungen von *A. rubens* und *M. glacialis* keine Rolle spielt. Ein System konnte im Hinblick darauf nicht festgestellt werden, wohl aber für das nacheinander stattfindende Setzen benachbarter Radiale auf den Boden. Für *C. papposus* besteht eine Signifikanz im Hinblick auf die Fragestellung. Neben den Unterschieden in der Komplexität der Arten, könnten vor allem verschiedene Regenerationszeiten oder sensorische Integrationsunterschiede dafür relevant sein (MANGOLD 1908; RAMSAY ET AL., 2001). Das Heben der ersten Radiale lässt keine eindeutigen Schlüsse auf eventuelle Präferenzen zu, wenngleich Ansätze zum Nutzen der II., III. und IV. Radiale zu erkennen sind.

Fernab der Ausgangsüberlegungen die Madreporenplatte betreffend, konnte festgestellt werden, dass bei den Asteroidea die aufsetzenden Arme zumeist nebeneinander lokalisiert sind. Diese Beobachtung deckt sich für den gesamten Prozess. Die verschiedenen Möglichkeiten der Armabfolge verdeutlichen, dass es sich beim Drehen der Seesterne um eine Lagekorrektur zur Wiederherstellung des Ausgangszustandes handelt (DIEBSCHLAG, 1938). Die Drehbewegung der Seesterne ist dabei kein stereotypes Verhalten, vielmehr ist es plastisch und veränderbar (MANGOLD, 1921). Im Gegensatz zur Lagekorrektur beinhaltet Selbstwendungsverhalten das aktive Werfen auf den Rücken.

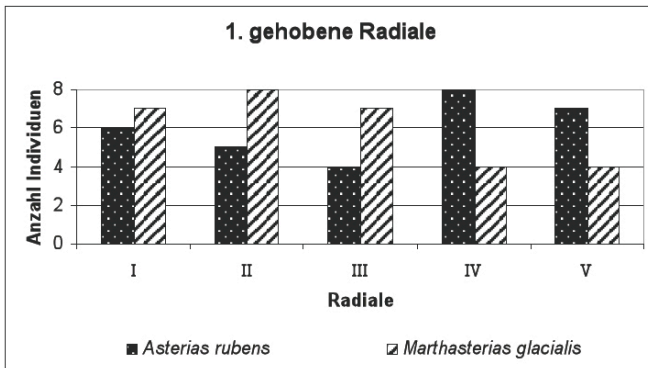


Abb. 10: Verteilung der zuerst gehobenen Radiale für *Asterias rubens* und *Marthasterias glacialis*.

Um detaillierte Aussagen der Drehbewegungen für Asteroidea treffen zu können, sollten neben der Vergrößerung der Stichprobe ebenso weitere Arten miteinbezogen werden. Als besonders interessant könnte sich dabei *Astropecten irregularis* erweisen, da der Nordische Kammstern im Gegensatz zu den hier untersuchten Arten Weichböden als Habitat besiedelt. Zum Schutz und zur Nahrungsbeschaffung graben sich diese Organismen ein. Dieser Faktor könnte eine zusätzliche Dimension im Verständnis der Drehbewegungen eröffnen. Von *Astropecten spinulosus* ist u.a. die Tulpenform bereits bekannt (HAEFELFINGER, 1975).

Literatur

Diebschlag, E. (1938): Ganzheitliches Verhalten und Lernen bei Echinodermen. Zoologisches Institut der Universität Marburg, der Biologischen Anstalt auf Helgoland und der Zoologischen Station Neapel. Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology 25, 4: 612-654.

Fraenkel, G. (1928): Über den Auslösungsreiz des Umdrehreflexes bei Seesternen und Schlangensterne. Zoologische Station Plymouth. Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology 7, 3: 365-378.

Ferguson, J.C. (1984): Translocative functions of the enigmatic organs of starfish – the axial organ, hemmel vessels, Tiedemann's bodies and rectal caeca: An autoradiographic study. Department of Biology, Eckerd College, Box 12560, St. Petersburg, Florida 33733. Biol. Bull. 166: 140-155.

Haefelfinger, H.-R. (1975): *Astropecten spinulosus* (Asteroidea)

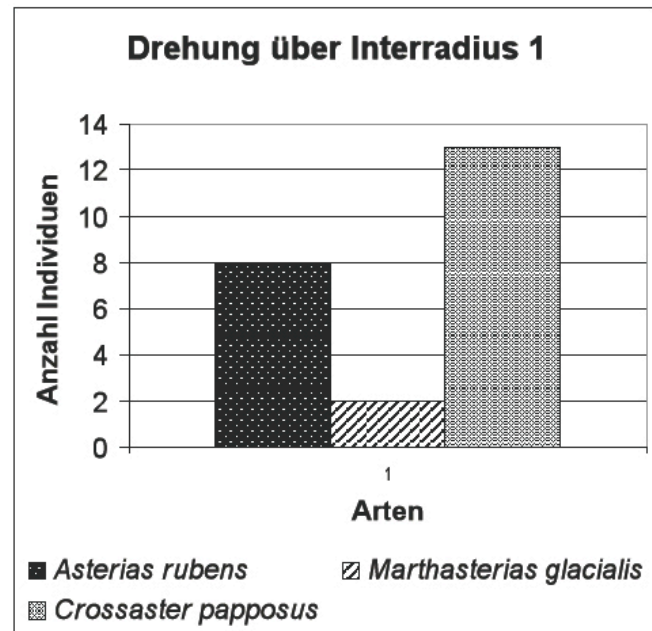


Abb. 11: Anzahl der Individuen, die über die 1. Interradiale gedreht haben für *Asterias rubens*, *Marthasterias glacialis* und *Crossaster papposus*.

Bewegungsweisen. Institut für den wissenschaftlichen Film. Göttingen. Film E969: 3-15.

Jennings, H. (1907): The behaviour of the starfish. University of California Publications. Zoology.

Mangold, E. (1908): Studien zur Physiologie des Nervensystems der Echinodermen. Physiologische Abteilung der zoologischen Station in Neapel. Pflügers Archiv European Journal of Physiology 122, 7-9: 315-360.

Mangold, E. (1921): Der Umdrehreflex bei Seesternen und Schlangensterne. Physiologische Abteilung der Zoologischen Station Neapel und Physiologisches Institut Freiburg i. Br. Pflügers Archiv European Journal of Physiology 189, 1: 73-98.

Moore, A.R. (1911): On the righting movements of the starfish. Biol. Bull. of the Marine biol. Laborat.

Tab. 1: Minimale und maximale Größe [cm] der Versuchstiere und Dauer der Drehbewegungen [s] für *Asterias rubens*, *Marthasterias glacialis* und *Crossaster papposus*.

Art	Größe [cm]		Dauer der Drehbewegung [s]	
	Min	Max	Min	Max
<i>Asterias rubens</i>	2,10	11,50	19	82
<i>Marthasterias glacialis</i>	1,70	41,00	42	100
<i>Crossaster papposus</i>	16,40	24,00	140	5340

Preyer, W. (1886/87): Über die Bewegungen der Seesterne.
Mitt. a. d. zoologischen Station zu Neapel 7, 27 u. 191.

Ramsay, K; Bergmann, M.; Veale, L.O.; Richardson, C.A.;
Kaiser, M.J.; Vize, S.J.; Feist, S.W. (2001): Damage, autotomy
and arm regeneration in starfish caught by towed demersal
fishing gears. Marine Biology 138: 527-536.

Westheide, W. & Rieger, R. (2007): Spezielle Zoologie, Teil 1:
Einzeller und Wirbellose Tiere, Spektrum Verlag.

Wolf, E. (1925): Physiologische Untersuchungen über das
Umdrehen der Seesterne und Schlangensterne. Zoologische
Station zu Neapel. Journal of Comparative Physiology A:
Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology
3, 2, 209-224.

Barnacle species show unequal propensity for different substrates

Verschiedene Seepocken zeigen unterschiedliche Präferenzen für ihre Substratwahl (Cirripedia: Crustacea)

Undine Lingk; ulingk@yahoo.de

Eva-Maria Zeller; zeller@zedat.fu-berlin.de

Abstract

In the present study we analysed the propensity for certain substrates of the five different barnacles *Semibalanus balanoides*, Linnaeus (1767), *Balanus improvisus*, Darwin (1854), *Balanus crenatus*, Bruguière (1789), *Balanus balanus*, Linnaeus (1758), *Elminius modestus*, Darwin (1854). During the practical course of marine biology in September 2010, adult individuals were counted and later on compared with their recruitment on either sea shell with smooth surface or rocks with rough surface. The results show that, *Semibalanus balanoides* most significant settles on rough rocks, whereas *Balanus improvisus* shows a significant preference for smooth shells of *Mytilus edulis*.

Einleitung

Seepocken wirken auf den ersten Blick unscheinbar, trivial und gelten vor allem bei Seefahrern durch ihren starken Bewuchs an den Booten als lästig. Dennoch weisen diese Tiere, die dem Taxon der Crustacea angehören, bei genauerer Betrachtung markante Unterschiede in ihrer Morphologie auf. Darwin erkannte die Schwierigkeit der Bestimmung der unterschiedlichen Arten, da sich viele rein äußerlich kaum von einander abgrenzen lassen und folglich spezifischere Eigenschaften untersucht werden müssen (Darwin, 1854). Seepocken durchlaufen in ihrer

Entwicklung mehrere Metamorphosestadien, von der freischwimmenden Naupiliuslarve, die 6 Stadien durchläuft, über die Cypris bis hin zum adulten, sessilen Tier. Die Seepocken sind sekundär zur sessilen Lebensweise übergegangen und haben, wie bei festlebenden Organismen häufig zu beobachten, einen annähernd radiärsymmetrischen Grundriß (Luther, 1987, S. 2). Untersuchungen zeigen, dass Cyprislarven oftmals gezielt die Substratoberfläche mit ihrer dorsalen oder lateralen Seite abtasten, bevor sie sich letztendlich festsetzen (Berntsson et al., 2000). Crisp (1974) beschreibt drei verschiedene Phasen

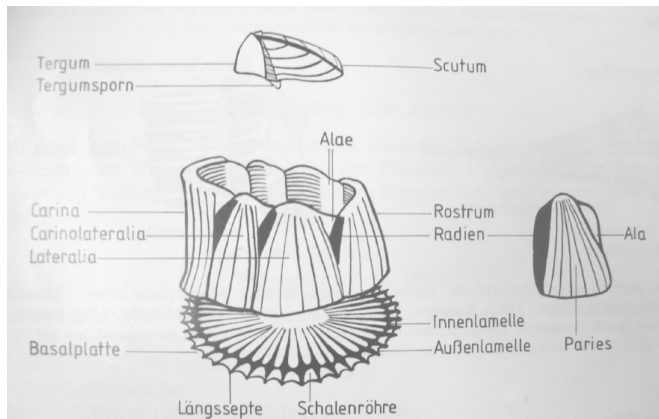


Abb.1 Halbschematische Darstellung eines Balanidengehäuses. Oberer Teil zeigt das Operculum. In der Mitte ist die gesamte Mauerkrone dargestellt, rechts davon eine einzelne Wandplatte. Unten ist die Basalplatte gezeichnet (Luther, 1987).

der Substratbegutachtung: großzügige Prüfung, eingehende Prüfung und bei geeignetem Substrat eine abschließende Phase, die letztendlich zur dauerhaften Adhäsion führt. Es folgt ein sehr komplexer Umwandlungsprozeß, dessen Resultat eine adulte Seepocke ist, die aus anatomischer Sicht kopfüber am Substrat verankert ist. Der Adultus zeichnet sich äußerlich folgendermaßen aus (Luther, 1987): Basalplatte (bei Ablösung sichtbar), Mantelkrone mit unterschiedlich ausgeprägten Skelettplatten (deren Schalenröhren teilweise sekundär mit Kalk ausgefüllt werden) und Operculum aus Tergum und Scutum (Abb. 1).

Bei Sammlungen für Bestimmungsübungen sind Unterschiede bezüglich der Verteilung der Pockenarten auf unterschiedlichem Substrat aufgefallen. Aufgrund dieser Beobachtung wurde die Hypothese aufgestellt, dass bestimmte Pockenarten unterschiedliches Substrat für die Ansiedelung präferieren. Die vorliegende Studie beschäftigt sich daher mit der Auszählung von Individuen verschiedener Seepockenarten auf zwei unterschiedlichen Substratoberflächen. Sollte sich diese Beobachtung quantitativ bestätigen lassen, ist anzunehmen, dass es sich

dabei nicht um eine zufällige Verteilung auf den verschiedenen Substraten handelt.

Material und Methoden

Folgende Untersuchungen wurden im Zeitraum vom 26.-29.9.2010 im Sven Lovén Centre for Marine Sciences in Tjärnö (Schweden) festgehalten. An zwei aufeinander folgenden Tagen wurden Muschel- und Steinexemplare in direkter Hafennähe gesammelt. Genauer Standort war eine nahegelegene Muschelbank zwischen Tjärnö und Saltö (58° 52' N, 11° 08' O), die eine ausgewogene Anzahl an Muscheln und Steinen bot. Um den Aspekt der Bedingungsgleichheit zu gewähren, wurde im Umfeld von 10 Metern bei einer Wassertemperatur von 11,9 °C, einer Salinität von 28,8 ppm und einer durchschnittlichen Wassertiefe von 40 cm gesammelt. Die Stichproben wurden nach folgendem Zufallsprinzip entnommen: Entlang der Uferseite Tjärnös wurde pro Meter in angegebener Wassertiefe entweder ein Stein (Gneis oder Granit) oder eine Muschelkolonie (der Art *Mytilus edulis*) aus durchschnittlich 5 Exemplaren gesammelt, welche anschließend im Labor ausgewertet wurden. Dort wurden die unterschiedlichen Balanomorpharten bestimmt: *Semibalanus balanoides*, Linnaeus (1767), *Balanus improvisus*, Darwin (1854), *Balanus crenatus*, Bruguière (1789), *Balanus balanus*, Linnaeus (1758), *Elminius modestus*, Darwin (1854). Die Bestimmung der einzelnen Tiere erfolgte nach dem Bestimmungsschlüssel von Gertraud Luther (1987) und mittels eines Binokulars, sowie einer Lupe. Untersucht wurden lediglich lebende Tiere, deren Operculum noch intakt war. Die Größe der Tiere war für diesen Versuch unerheblich. Folgende Bestimmungsmerkmale waren bei der Bestimmung der Individuen besonders relevant:

Semibalanus balanoides (Abb. 2A): sechsplattiges Gehäuse, stark kanalikierte Mauerplatten (wirken durch teilweise basale Verkalkung oft sehr massiv), breit-rhombische und eher weite Gehäuseöffnung, weißer Mantelsaum mit zentralem braunen Fleck, markante Form der Fuge zwischen Tergum und Scutum (Bögen der beiden Seiten sind sinusartig geschwungen

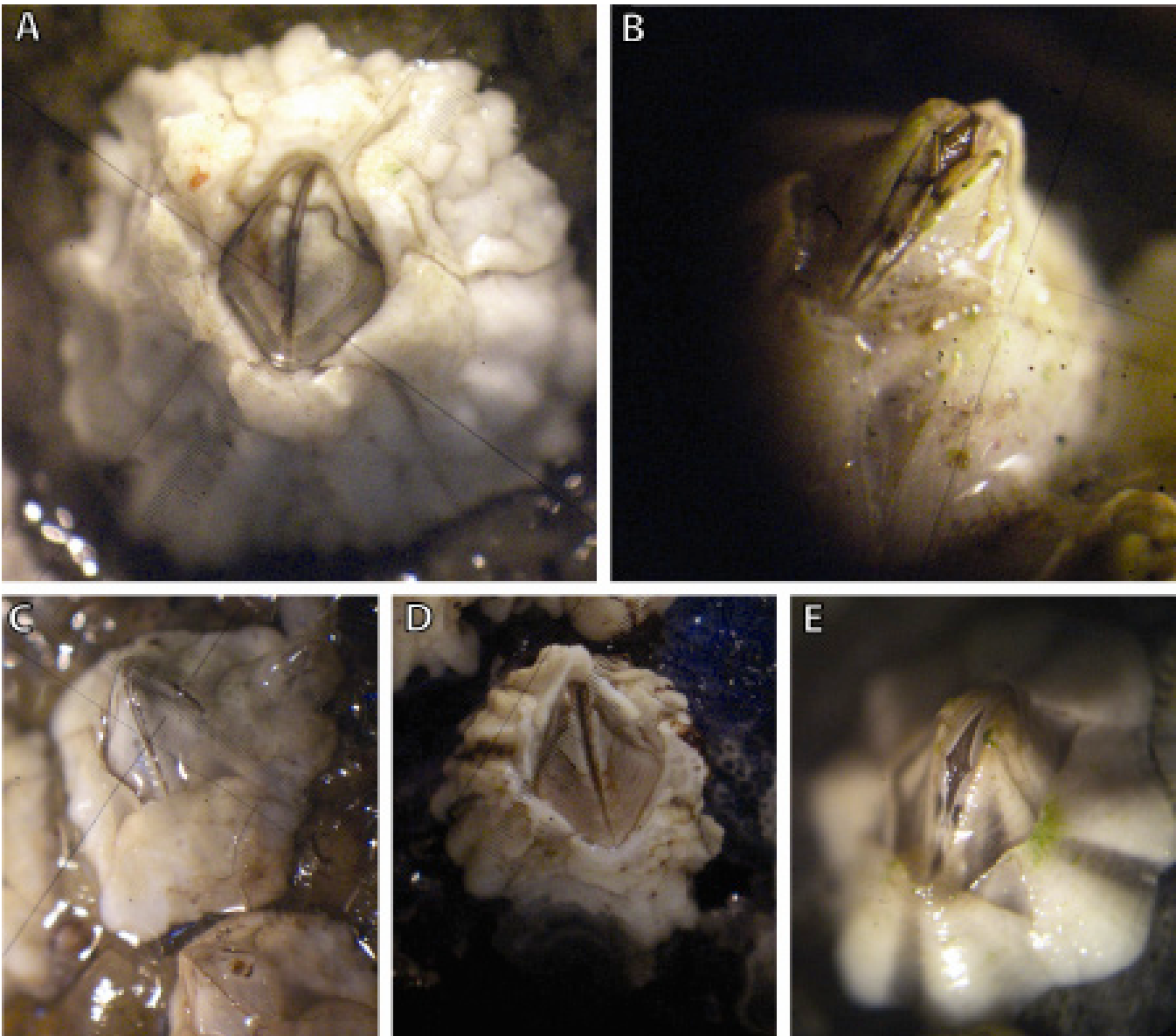


Abb.2 Aufnahmen der fünf untersuchten Balanomorpha-Arten. A *Semibalanus balanoides*, B *Balanus improvisus*, C *Balanus crenatus*, D *Balanus balanus*, E *Elminius modestus*.

und bilden einen spitzen Winkel auf der Mittellinie).

Balanus improvisus (Abb. 2B): sechsplattiges Gehäuse, glatte Skelettplatten, zweilamellige, kanalikulierte Mauerplatten (jedoch nicht wie bei *Semibalanus balanoides* sekundär verkalkt.) Die Mantelkrone von *Balanus improvisus* ist im Vergleich mit den anderen Arten glatter und besitzt eine rhombische Gehäuseöffnung, einen weißgrundigen Mantelsaum mit drei dunklen Querbändern und einer zur Mittellinie spitzwinklig verlaufende Furche zwischen Scutum und Terga.

Balanus crenatus (Abb. 2C): sechsplattiges Gehäuse, carinal leicht überkippend, glatte Skelettplatten (bei

älteren Tieren können diese auch leicht gefurcht sein), zweilamellige, kanikulierte Mauerplatten (jedoch wie auch bei *Balanus improvisus* nicht nachträglich mit Kalk gefüllt) tief gekärbter Gehäuserand, Gehäuseöffnung weit und spitzrhombisch mit carnial ausgezogener Spitze, Furche zwischen Scutum und Tergum spitzwinklig zur Mittellinie, schmaler und flacher Mantelrand, längsgestreifte Mantelöffnung mit gelbem oder weißlichem Rand.

Balanus balanus (Abb. 2D): sechsplattiges Gehäuse, Skelettplatten mit stark hervortretenden, kantigen Längsrippen, zweilamellige, kanakulierte Mauerplatte (Innenlamellen zusätzlich verstärkt), sehr enge

Gehäuseöffnung, Mantelrand am Längsspalt gelbbraun und weiß gestreift.

Elminius modestus (Abb. 2E): vierplattiges Gehäuse, Gehäuse carinal spitz verlaufend und höher als rostral, Skelettplatten glatt und grau mit zwei Längswüsten, so dass der Basisrand einen achtstrahligen Stern ergibt, zweischichtige Mauerplatten, die nicht kanalikuliert sind, weißer Mantelsaum mit einem orangefarbenen und braunen Fleck in der Mitte, zwischen Scutum und Tergum jederseits eine schmal-dreieckige, grau gefärbte Area.

Pro Substrat wurden jeweils 1000 Individuen erfasst. Anschließend wurden die ermittelten Werte mittels eines χ^2 -Tests in Microsoft Excel auf Signifikanz geprüft.

Ergebnisse

Von den 2000 ausgezählten Tieren gehörten 1133 der Art *Semibalanus balanoides*, 799 der Art *Balanus improvisus*, 59 der Art *Balanus crenatus*, 8 der Art *Balanus balanus* und eine der Art *Elminius modestus* an (Tab. 1). Die Untersuchung der einzelnen Substratbesiedelungen ergab folgendes Ergebnis für das Substrat Muschel (glatte Oberfläche): Von 1000 Individuen waren 652 der Art *Balanus improvisus*, 299 der Art *Semibalanus balanoides*, 40 der Art *Balanus crenatus*, 8 der

Art *Balanus balanus* und eine der Art *Elminius modestus* zuzuordnen. Für das Substrat Stein (raue Oberfläche) konnten unter 1000 Individuen folgende Werte ermittelt werden:

Semibalanus balanoides 834, *Balanus improvisus* 147, *Balanus crenatus* 19, und jeweils 0 Individuen der Arten *Balanus balanus* und *Elminius modestus* (Abb. 3). Innerhalb der Art *Semibalanus balanoides* ist es zu folgender Verteilung gekommen: 834 siedelten auf Stein und 299 auf Muschel, welches einen prozentualen Anteil von 74% zu 26% ergibt (Abb. 4). Anhand des χ^2 -Tests kann für die Art *Semibalanus balanoides* festgehalten werden, dass diese hochsignifikant häufiger auf Stein ansiedelt als auf Muscheloberflächen, da $p < 0,01$.

Die Art *Balanus improvisus* hingegen siedelt hochsignifikant häufiger auf Muscheloberflächen ($p < 0,01$). Von 799 Individuen siedelten 652, entspricht 82%, auf Muschel und 147, entspricht 18%, auf Stein (Abb. 5).

Für die Art *Balanus crenatus* konnte ebenfalls ein hochsignifikanter Unterschied bei der Substratpräferenz errechnet werden. Von 59 erfassten Individuen siedelten 40 auf Muschel und 19 auf Stein. Aufgrund des geringen

Tab.1 Darstellung der Individuenanzahl auf den Substraten Stein und Muschel. Angegeben sind sowohl die gezählte Individuenzahl pro Substrat, als auch die Gesamtzahl der einzelnen Pockenarten. Rot markierte Zahlen kennzeichnen hochsignifikante Werte.

Art	Stein (rau)	Muschel (glatte)	Gesamtanzahl
<i>Balanus crenatus</i>	19	40	59
<i>Semibalanus balanoides</i>	834	299	1133
<i>Balanus balanus</i>	0	8	8
<i>Balanus improvisus</i>	147	652	799
<i>Elminius modestus</i>	0	1	1
Gesamt	1000	1000	2000

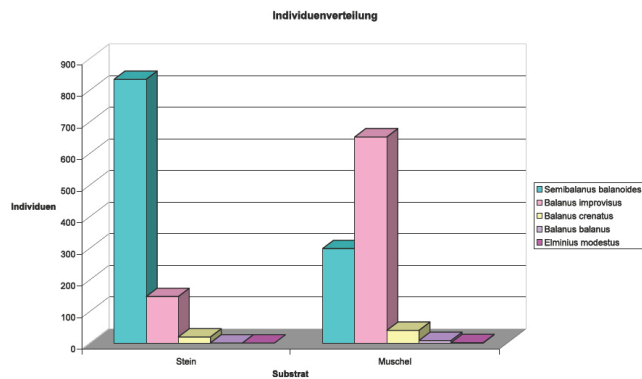


Abb. 3 Verteilung der Individuen der verschiedenen Arten auf den Substraten Stein und Muschel.

Stichprobenumfangs müssten jedoch weitere Auszählungen erfolgen, um diese Aussage zu stützen.

Bei *Balanus balanus* siedelten 8 von 8 erfassten Individuen auf Muschelschalen.

Elminius modestus konnte lediglich mit einem Individuum auf einer Muschelschale dokumentiert werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass *Semibalanus balanoides* Stein als Ansiedelort gegenüber Muscheloberflächen bevorzugt, wohingegen *Balanus improvisus* eindeutig die Ansiedelung auf Muscheloberflächen gegenüber Stein präferiert.

Die genaue Positionierung auf den einzelnen Substraten wurde statistisch nicht festgehalten. Es konnte jedoch beobachtet werden, dass Seepocken häufiger am posterioren Ende der Muschel ansiedeln. Steine hingegen wurden kolonienartig oder teilweise auch gänzlich, bis auf die Unterseite, besiedelt. Generell bilden Pocken arteigene Kolonien, vereinzelt treten jedoch auch Pocken anderer Arten in solchen auf. Turmbau wurde nur sehr selten beobachtet.

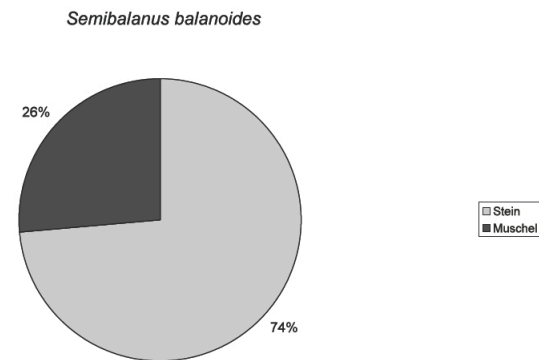


Abb. 4 Prozentuale Darstellung der Verteilung aller gezählten Individuen von *Semibalanus balanoides* auf den Substraten Stein und Muschel.

Diskussion

Ziel dieser Untersuchung war es, Präferenzen hinsichtlich der Substratansiedelung der fünf heimischen Balanomorpho nachzuweisen. Bezüglich der Art *Semibalanus balanoides* konnte eine hochsignifikante Präferenz für das Substrat Stein nachgewiesen werden. 74% der Individuen von *Semibalanus balanoides* siedelten auf Steinoberfläche und 26% auf Muscheloberflächen. Dieses Ergebnis unterstützt Beobachtungen, die in vorherigen Studien dokumentiert wurden (Berntsson et al., 2000; Hills und Thomason, 1998). Die Substratwahl wird von der Cyprislarve, dem letzte Larvenstadium der Cirripedia, getroffen. Mögliche Gründe für deren Substratwahl können die Verbreitung, also die vorhandene Substratvielfalt, Larvenbeschaffenheit und physikalische Transportprozesse der Balanomorpho sein. Physikalische Transportprozesse sind beispielsweise Wasserturbulenzen, die durch die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit von rauem Substrat hervorgerufen werden (Eckman, 1990; Mullineaux und Butman, 1991(nach Berntsson et al., 2000)). Die Cyprislarven werden möglicherweise durch die auftretenden Sogkräfte an das Substrat gepresst.

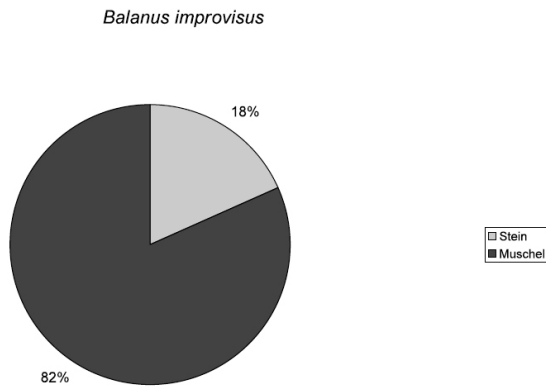


Abb. 5 Prozentuale Darstellung der Verteilung aller gezählten Individuen von *Balanus improvisus* auf den Substraten Stein und Muschel.

In vielen Studien wurden weitere physikalische und biologische Faktoren thematisiert (u.a. Shanks und Wright, 1987; Tremblay et al., 1994; Shkedy und Roughgarden, 1997 (nach Berntsson et al., 2000)). Getzin und Witte (mündlich) zeigten durch ihre Untersuchungen, dass der Faktor der Sonneneinstrahlung Einfluss auf die Verteilung von *Semibalanus balanoides* auf Stein haben kann, da weniger Individuen auf Habitaten zu finden waren, die nach Süden ausgerichtet sind. Die Verhaltensweisen der Larven hingegen wurden laut Berntsson et al. (2000) nur unzureichend erforscht.

Hills und Thomason (1998) setzten die Präferenz von rauen Oberflächen von *Semibalanus balanoides* in Bezug auf die Ähnlichkeit der Körpergröße der Cyprislarve zur Strukturtiefe des Substrats. So bevorzugten Individuen dieser Art Oberflächenstrukturen von 0,5-2mm, was deren Larvengröße entspricht. Walters und Wethey (1996) gehen von einem Schutzverhalten gegen Strömungskräfte und dadurch verbesserte Adhäsion aus. Die gefurchten Bereiche dienen durch ihre Passform als gute Zufluchtsmöglichkeit. Laut Crisp (1974) spielt die Anwesenheit von Artgenossen ebenfalls eine wichtige Rolle.

Seepocken siedeln demnach bevorzugter an Orten, die bereits von Artgenossen besiedelt sind. Dies lässt sich unter anderem durch die Tatsache erklären, dass Seepocken Zwitter sind und für die Fortpflanzung nahegelegene Artgenossen benötigen.

Ähnliche Erklärungsmöglichkeiten können ebenfalls für die Art *Balanus improvisus* herangezogen werden. Diese siedelte jedoch im vorliegenden Versuch hochsignifikant häufiger auf Muscheloberflächen, in einem Verhältnis von 82% auf glatter Muscheloberfläche zu 18% auf rauer Steinoberfläche. Dies konnte bereits bei Versuchen zur Ansiedelung von Cyprislarven dieser Art festgehalten werden, bei denen die Darbietung von rauen Oberflächen zu einem Rückgang der Ansiedelung von 92% im Vergleich zu glatten Oberflächen führte (Berntsson et al., 2000). Im Gegensatz zu *Semibalanus balanoides* reagiert *Balanus improvisus* empfindlicher auf Wasserturbulenzen (Luther, 1987). Dies könnte die Präferenz für Ansiedelung auf glatten Muschelschalen erklären, da diese aufgrund ihrer Oberflächenbeschaffenheit weniger Wasserturbulenzen hervorruft.

Aufgrund der geringen Individuenanzahlen können keine aussagekräftige Präferenz der Arten *Balanus crenatus*, *Balanus balanoides*, *Elminius modestus* festgehalten werden.

Als interessant erwies sich des Weiteren die Beobachtung, dass sich Pocken auf Muscheloberflächen generell eher am posterioren Ende ansiedeln. Dies bietet Möglichkeiten für weitere Untersuchungen, inwieweit die Ernährungsweise mit der Substratpräferenz korreliert. Der Filtrationseinstrom von *Mytilus edulis* befindet sich am posterioren Ende. Da Pocken ebenfalls Filtrierer sind, könnte die

Präferenz des Ortes einen kommensalistischen Hintergrund haben.

Für genauere Aussagen bezüglich der gezielten Substratwahl der Seepocken müssen weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Die

Anatomie der Cyprislarven könnte in diesem Kontext genauer erforscht werden. Hierbei könnte der Andockmechanismus der Cyprislarven der einzelnen Arten von Interesse sein, um dadurch eventuelle Unterschiede aufzuzeigen.

Literatur:

Berntsson, K.M., Jonsson, P. R., Lejhall, M., Gatenholm, P., (2000). Analysis of behavioural rejection of micro-textured surfaces and implications for recruitment by barnacles *Balanus improvisus*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 251, 59-83.

Crips, D. J., (1974). Factors influencing the settlement of marine invertebrate larvae. In: Grant, P. T., Mackie, A. M. (Eds.), Chemoreception in Marine Organisms. Academic Press, New York, 142-265.

Crips, D.J., Barnes, H., (1954). The orientation and distribution of barnacles at settlement with particular reference to surface contour. J. Anim. Ecol. 23, 142- 162.

Darwin, C., (1854). A monograph on the subclass Cirripedia, with figures of all species. Ray Soc. London.

Eckmann, J. E., (1990). A model of passive settlement by planktonic larvae onto bottoms of differing roughness. Limnol. Oceanogr. 35, 887- 991.

Getzin, S., Witte, M.. Das Vorkommen von *Semibalanus*

balanoides im Kosterfjord ist unabhängig von der Wellenenergie im Habitat, aber beeinflusst durch die geografische Ausrichtung. (in preparation)

Hills, J.M., Thomason, J.C., (1998). The effect of scales of surface roughness on the settlement of barnacle (*Semibalanus balanoides*) cyprids. Biofouling 12. 57-69.

Little, C., Kitching, J.A., (1996.) The Biology of Rocky Shores, Oxford University Press, New York. 117-120.

Luther, G., (1987). Seepocken der deutschen Küstengewässer, Sonderabdruck aus: Helgoländer Meeresuntersuchungen 41, Hamburg, 1-43.

Mullinaeux, L. S., Butman, C. A. (1991). Initial contact, exploration and attachment of barnacle (*Balanus amphitrite*) cyprids settling in flow. Mar Biol. 110, 93- 103.

Walters, L. J., Wetthey, D. S. (1996). Settlement and early post-settlement survival of sessile marine invertebrates on topographically complex surfaces: The importance of refuge dimensions and adult morphology. Mar. Ecol. Prog. Ser. 137, 161- 171.

Das Vorkommen von *Semibalanus balanoides* im Kosterfjord ist unabhängig von der Wellenenergie, aber beeinflusst durch die geografische Ausrichtung

Sofia Getzin; sofia.getzin@web.de

Mira Witte; mira.witte@gmx.de

Abstract

During a survey in September 2010 in Tjärnö, Sweden, we examined differences in the occurrence of the barnacle *Semibalanus balanoides* at rocky shores. We sought to proof whether there were differences in the density of *S. balanoides* in habitats depending either on wave energy or on orientation of the rocks facing north and south respectively. Data analysis showed no differences in occurrence of the barnacles depending on wave energy in the habitat. In contrast there is a significant difference between examined rock faces with opposite orientation. Habitats with northerly orientation harboured greatly more individuals of *S. balanoides* than southerly orientated habitats. These results indicate that several factors influence the occurrence of barnacles in habitats connected to orientation. We suggest that there is a correlation between solar exposure, which influences thermal stress and the risk of desiccation and the frequency of occurrence of *S. balanoides*.

Einleitung

Die Seepockenart *Semibalanus balanoides* L. prägt mit seinem gehäuftem Auftreten und den herausstechenden Ballungen an den Felsen das Bild der Küstenlinie des Kosterfjords. Es fällt auf, dass die Besiedlung jedoch nicht kontinuierlich erscheint – offenbare Unterschiede in Populationsdichten lassen vermuten, dass die Besiedlung abhängig von verschiedenen Faktoren ist. Zu den besonderen Herausforderungen für dort ansässige Organismen gehört, dass sie den, teilweise extremen, abiotischen Faktoren in ihrem Lebensraum durch ihre sessile Lebensweise nicht ausweichen können. Ihnen ist es nicht möglich, wie andere Organismen, das Habitat zu wechseln.

Die Auswirkungen der abiotischen Faktoren im oberen Litoral werden in dieser Arbeit anhand des Vorkommens von *S. balanoides* untersucht. Die betrachtete Art gehört zu den Balanomorpha, es handelt sich also um sessile Crustaceen der Ordnung Cirripedia (Nillson-Cantell, 1978). *S. balanoides* stellte in der Bucht des Kosterfjords die bei Weitem häufigste Art der Balanomorpha dar.

Die Habitate von *S. balanoides* entlang der Küstenlinie unterscheiden sich in ihrer Exponiertheit

und damit einhergehend in unterschiedlich starken Wellenenergie, denen sie ausgesetzt sind (Little & Kitching, 1996), was das Vorkommen von *S. balanoides* beeinflussen könnte. Eine besondere Herausforderung, denen die Tiere ausgesetzt sind, ist, dass durch die Besiedlung des oberen Litorals häufig trocken fallen können. *S. balanoides* kann zwar für längere Zeit der Luft ausgesetzt sein (Nillson-Cantell, 1978), aber ist trotzdem der Gefahr der Austrocknung ausgesetzt. Es stellt sich die Frage, ob die Faktoren der Wellenenergie und Ausrichtung zur Sonne das beobachtete unregelmäßige Vorkommen von *S. balanoides* beeinflusst.

Diesem möglichen Einfluss der beiden genannten abiotischen Faktoren auf das Vorkommen von *S. balanoides* wurde in dieser Arbeit nachgegangen. Untersucht wurde der Einfluss

(a) der Wellenenergie in verschiedenen exponierten Habitaten und

(b) der Ausrichtung von Habitaten zu verschiedenen Himmelsrichtungen, genauer in Richtung Nord und Süd.

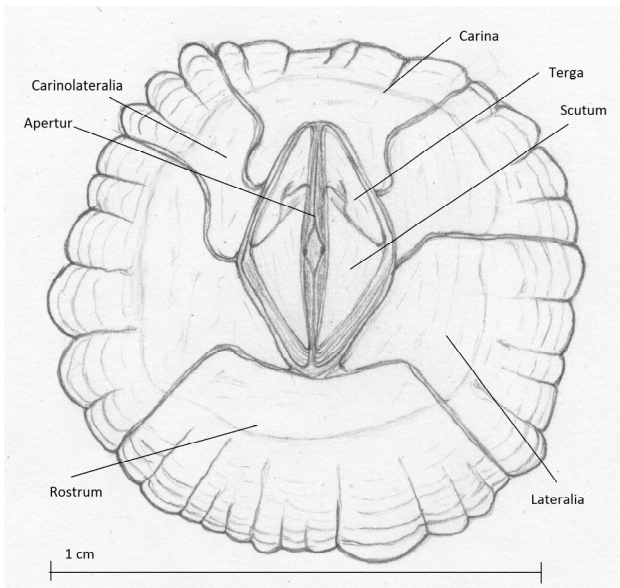


Abb. 1: *S. balanoides* frontal. 5-15 cm Durchmesser; weite Gehäuseöffnung; geschwungene Fuge zwischen Scuta und Terga.

In zwei Untersuchungsreihen wurde das Vorkommen von *S. balanoides* in Gebieten, die sich in den genannten Faktoren unterscheiden, verglichen. In der ersten Untersuchungsreihe (a) wurde zunächst ein Vergleich des Vorkommens an drei unterschiedlich exponierten Orten durchgeführt. Die zweite Untersuchungsreihe (b) stellte das Vorkommen von *S. balanoides* an jeweils drei Orten mit nördlicher bzw. südlicher Ausrichtung gegenüber. Durch qualitative Beobachtungen wurden zusätzlich mögliche Auswirkungen des gemeinsamen Auftretens mit anderen sessilen Arten im Habitat auf die Populationsgröße von *S. balanoides* untersucht.

Material und Methoden

Die Untersuchungsreihen zum Einfluss von Wellenenergie bzw. geografischer Ausrichtung auf das Vorkommen von *S. balanoides* (bestimmt nach Luther, 1987; OECD, 1963) wurden beide im September 2010 im nordöstlichen Skagerrak gelegenen Kosterfjord, Schweden, durchgeführt.

Die durchschnittliche jährliche Wassertemperatur im Untersuchungsgebiet beträgt 9,0°C (Tjärnö Marinbiologiska Laboratorium Databas; Werte von Oktober 2009 bis September 2010). Diese liegt offenbar im Toleranzbereich für die Besiedlung durch *S. balanoides*, deren Ausbreitung sich auf arktische und boreal-arktische Gewässer beschränkt (Nilsson-Cantell,

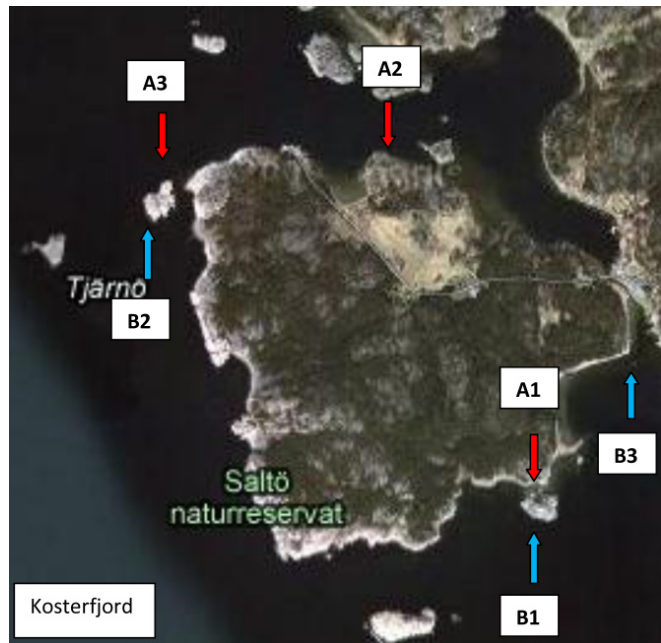


Abb. 2: Beobachtungsorte des Feldversuches. Versuchsreihe (a) mit den nach Norden ausgerichteten Fundorten A1: geschützt, A2: halbexponiert und A3: geschützt, rote Pfeile. Versuchsreihe (b) mit den nach Süden ausgerichteten Fundorten B1-B3, blaue Pfeile.

1978). *S. balanoides* zeigt außerdem eine Präferenz für steinige Habitats (Lingk & Zeller, in press). Der festgelegte Untersuchungsraum an der oberen Grenze des Litorals, weist fast ausschließlich diese Seepockenart auf.

Für die erste Untersuchungsreihe (a) wurden drei Orte gewählt, an denen die Individuen von *S. balanoides* jeweils einer unterschiedlich starken Wellenenergie ausgesetzt sind. Ein schmaler Seitenstrom zwischen der Insel Saltö und der kleinen südwestlich gelegenen Insel Kattholmen wurde als geschütztes Habitat ausgewählt (A1). Der halbexponierte Ort liegt in der Bucht zwischen Saltö und Saltöhamn (A2). Als besonders exponierter Ort wurde die kleine Insel Vattenholmen ausgewählt, die sich westlich der Insel Saltö befindet und somit offen zum Kosterfjord liegt (A3). Allen Untersuchungsorten gemein ist, dass sie nach Norden ausgerichtet sind und eine vertikale Felswand aufweisen, an der *S. balanoides* siedelt. Die Wassertiefe an den Untersuchungsorten betrug nicht mehr als 1,20 m Tiefe, um den Zugang vom Wasser aus zu ermöglichen.

An den drei Orten wurden jeweils sechs 25x25 cm große Quadrate ausgezählt, in denen alle Individuen von *S. balanoides* erfasst wurden. Bei starkem Vorkommen, wurde ein 5 cm breiter, vertikaler Streifen in der Mitte des Quadrats ausgewählt und das Ergebnis mit 5 multipliziert. Die Auswahl der jeweils sechs Quadrate wurde durch eine Zufallsmethode auf einer Länge von 10 m festgelegt. Hierfür wurde zunächst ein Startpunkt willkürlich bestimmt, von dem aus nach links die Felder angelegt wurden. Aus 20 möglichen 50 cm-Schritten von 0,5 – 10 m, wurden jeweils sechs ausgelost. An den

zufällig festgelegten Stellen wurde die Oberkante des Messquadrats an dem höchstgelegenen Individuum der betrachteten Art angesetzt. Wenn die getesteten Orte keine 10 m durchgehende vertikale Felswand aufwiesen, wurden einzelne steile, zum Wasser ausgerichtete Abschnitte auf eine Gesamtlänge von 10 m addiert und anschließend untersucht.

Bei der folgenden Auszählung der Individuen wurden für die drei Habitate Mittelwerte der Individuenanzahl gebildet sowie die jeweilige Streuung festgestellt. Für die Datenauswertung und die grafische Darstellung der Ergebnisse wurde Microsoft Excel 2007 für Windows verwendet.

Bei der zweiten Untersuchungsreihe (b) wurden drei Orte ausgewählt, die - im Gegensatz zu den ersten Untersuchungsstellen - nach Süden ausgerichtet waren. Bei der Wahl der Orte wurde nun der Faktor Wellenenergie vernachlässigt, da dieser in der Untersuchungsreihe (a) keinen nachweisbaren Einfluss auf das Vorkommen von *S. balanoides* hatte. Der erste Ort für den Feldversuch war Kattholmen südwestlich von Saltö (B1), auf der auch der Untersuchungspunkt (A1) lag. Die zweite Stelle für die Untersuchung befand sich Vattenholmen westlich von Saltö (B2). Der dritte Untersuchungsstandort war ein Felsen, der vollständig von Wasser umgeben ist und westlich von Saltö liegt (B3).

Die Methoden der Felderwahl und der Auszählung der Individuen von *S. balanoides* entsprechen denen der Untersuchungsreihe (a).

Auf die Auszählung der Individuen folgte die Bildung des Mittelwerts der Individuenanzahl für alle 18 untersuchten Felder sowie die Ermittlung der Streuung. Diese wurden mit dem Mittelwert der Individuenanzahl der 18 Felder aus der Untersuchungsreihe (a) verglichen. Auch diese Datenauswertung und grafische Darstellung wurde mithilfe von Microsoft Excel 2007 für Windows durchgeführt. Um die statistische Aussagekraft der in der Untersuchungsreihe (b) ermittelten Daten festzustellen, wurde zunächst der χ^2 -Test durchgeführt. Da der Streuungswert der Datenreihen (a) und (b) hoch ausfällt, ist außerdem der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt worden.

Zusätzlich zu der Auszählung der Felder wurden die häufig vorkommenden und größeren Flächen bedeckenden Arten bestimmt, die außer *S. balanoides* innerhalb der Felder siedelten (bestimmt nach Kristiansen & Svedberg, 1999).

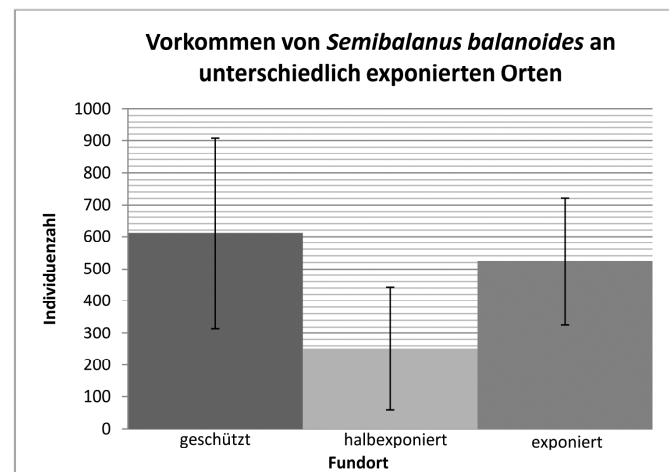


Abb. 3: Das Vorkommen von *S. balanoides* an unterschiedlich exponierten Orten. Die Abbildung zeigt die drei Fundorte, A1(geschützt), A2 (halbexponiert) und A3(exponiert) und die jeweils vorgefundene mittlere Individuenzahl nach 6 Stichproben. Die höchste Individuenzahl fand sich bei A1, eine mittlere bei A3. Die niedrigste mittlere Individuenzahl wurde an der halbexponierten Stelle A2 vorgefunden. Alle drei Mittelwerte zeigen eine große Streuung.

Ergebnisse

S. balanoides kam an einigen Stellen der vorgefundenen steilen Felsküste stark geballt vor, an anderen Stellen konnten dagegen nur vereinzelt Tiere gezählt werden. Eine eindeutige Tendenz in der Verteilung von *S. balanoides* und der Individuendichte, bezogen auf die Exponiertheit des Untersuchungsstandortes, ist nicht festzustellen. Die beobachteten Populationsdichten können die Hypothese, dass die Wellenenergie das Vorkommen von *S. balanoides* im Habitat beeinflusst, nicht bestätigen. Die gegenläufige Annahme, dass das Vorkommen von Seepocken unabhängig von der Wellenenergie im Habitat ist, wird somit bekräftigt. Alle Daten der Untersuchungsreihe (a) sind berechnete Mittelwerte der genommenen Proben. Die errechneten Mittelwerte zeigen, dass durchaus Unterschiede in den Mittelwerten existieren. Mit durchschnittlich 611,7 Individuen/25cm² sind an den geschützten Untersuchungsstandorten (A1) die höchsten Populationsdichten gefunden worden. Die niedrigsten Populationsdichten mit 251,7 Individuen/25cm² wurden am halbexponierten Standort (A2) gefunden. Am exponierten Standort (A3) konnten mittlere Populationsdichten mit 524,2 Individuen/25cm² erfasst werden. Alle Mittelwerte weisen eine sehr hohe Streuung auf, die je nach Fundort zwischen 191 und 296 Individuen/25cm² liegt.

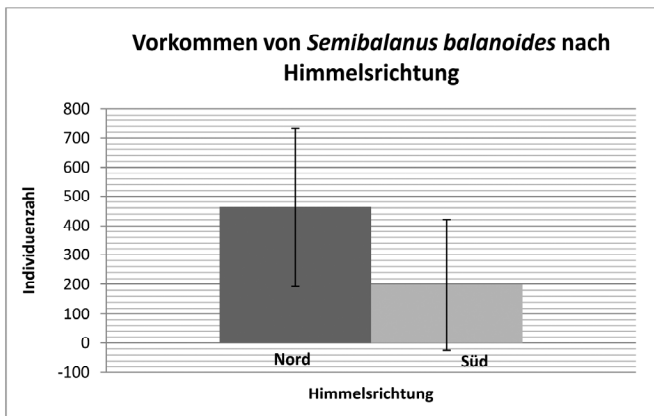


Abb. 4: Das Vorkommen von *S. balanoides* nach Himmelsrichtung. Dargestellt sind jeweils die errechneten Mittelwerte aus 18 Quadraten pro Himmelsrichtung. Die mittlere Individuenzahl/25cm² der nördlichen Küstenflächen ist mit 462,5 signifikant höher, als die der südlichen mit 198,1. Die Streuung ist bei beiden Mittelwerten groß.

In der zweiten Untersuchungsreihe (b), wurde das Vorkommen von *S. balanoides* an Orten entgegen gesetzter Himmelsrichtung (Nord/ Süd) untersucht. Die vorgefundene mittlere Individuenanzahl an nördlichen Küstenflächen ist signifikant höher, als die an südlichen Küsten. Auf nach Norden gerichteten Testfeldern wurden durchschnittlich 462,5 Individuen/25cm² gezählt, auf nach Süden gerichteten Testfeldern 198,1 Individuen/25cm². Die Streuung ist bei beiden Mittelwerten mit 270,2 Individuen/25cm² in südlich ausgerichteten Habitaten, gegenüber 223,2 Individuen/25cm² in nördlich ausgerichteten Habitaten, sehr groß. Mittels zweier statistischer Testverfahren, dem χ^2 -Test und dem Mann-Whitney-U-Test, wurde der Unterschied zwischen den Mittelwerten als signifikant herausgestellt (jeweils $P < 0,05$). Durch das signifikant höhere Vorkommen von Seepocken bei nördlicher, gegenüber südlicher Ausrichtung, kann die Annahme bestätigt werden, dass das Vorkommen von Seepocken sich je nach Ausrichtung zu den Kardinalpunkten Nord und Süd unterscheidet.

Um der Frage nach dem Einfluss von Konkurrenz auf die Besiedlung eines Ortes durch *S. balanoides* nachzugehen, wurden die anderen ansässigen Arten bestimmt. Andere vorgefundene sessile Arten im Habitat waren vorrangig die Braunalgen *Fucus ceranoides* L., *Fucus serratus* L. und die Rotalge *Polysiphonia fibrillosa* (Dillwyn) Spreng. sowie die Miesmuschel *Mytilus edulis* L.

Diskussion

Die Ergebnisse der Untersuchungsreihe (a) zeigen keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen der Populationsdichte von *S. balanoides* und der Exponiertheit des Ortes. Eine Präferenz von *S. balanoides* für Orte mit hoher bzw. geringer Wellenenergie ist somit nicht auszumachen. Dies entspricht nicht der ursprünglichen Annahme, dass Seepocken exponierte Orte bevorzugen. Begründet wurde diese Vermutung durch die Tatsache, dass Orte mit hoher Wellenenergie einen nahrungs- und sauerstoffreichen Lebensraum für Balanomorph bieten. Frühere Untersuchungen zeigen, dass filtrierende Organismen unter exponierten Bedingungen signifikant mehr Biomasse produzieren, als unter weniger exponierten Bedingungen (McQuaid & Branch, 1985).

Der Räuberdruck (hier z.B. durch die Schnecken *Polinices pulchellus*, *Hinia incrassata*) übt in exponierten Habitaten wenig beeinträchtigenden Einfluss auf die Population aus. In geschützten Lebensräumen wie Felsspalten, haben Räuber dagegen einen kontrollierenden Einfluss auf die Populationsgröße sessiler Beute (Menge, 1978). Der unterschiedlich starke Räuberdruck an verschiedenen exponierten Standorten scheint im nördlichen Skagerrak jedoch kein Mechanismus zu sein, der die Populationsdichten von *S. balanoides* strukturiert. Die genannten Mechanismen spiegeln sich daher in den Ergebnissen der Untersuchungsreihe (a) nicht wieder und scheinen auf das Vorkommen von *S. balanoides* im Lebensraum Kosterfjord keine Auswirkungen zu haben.

Sowohl in Untersuchungsreihe (a), als auch in Untersuchungsreihe (b), weisen die Werte eine große Streuung in der Individuenanzahl um den jeweils errechneten Mittelwert auf. Diese Differenzen in der Individuenanzahl der verschiedenen Felder eines Untersuchungsortes lassen sich auf die Siedlungsweise von *S. balanoides* zurückführen. Da sie sich mittels interner Befruchtung fortpflanzen und der maximale Individuenabstand durch die Reichweite des Penis begrenzt wird (Little & Kitching, 1996), stellt die Siedlungsweise in „Patches“ mit vielen Individuen geballt auf einem Fleck, einen Vorteil dar. Die Mechanismen der Ansiedlungsweise von Larven ist allerdings noch nicht ausreichend geklärt (Jonsson & Larsson, 2006).

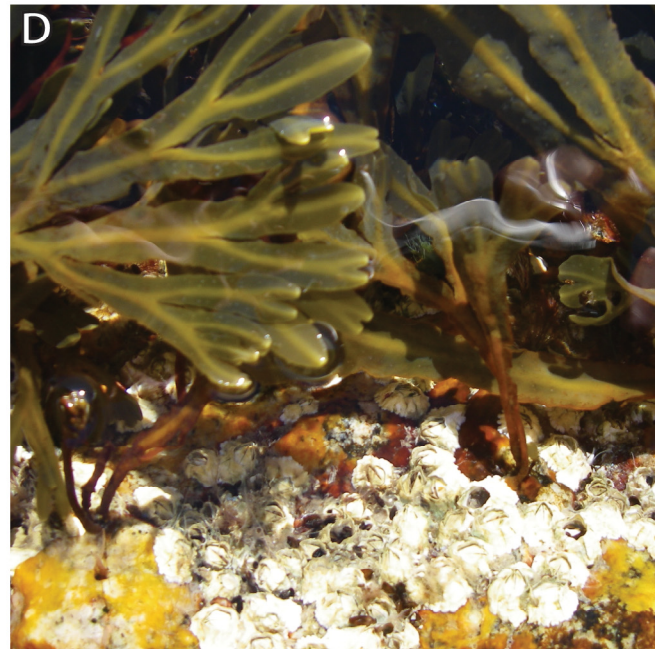
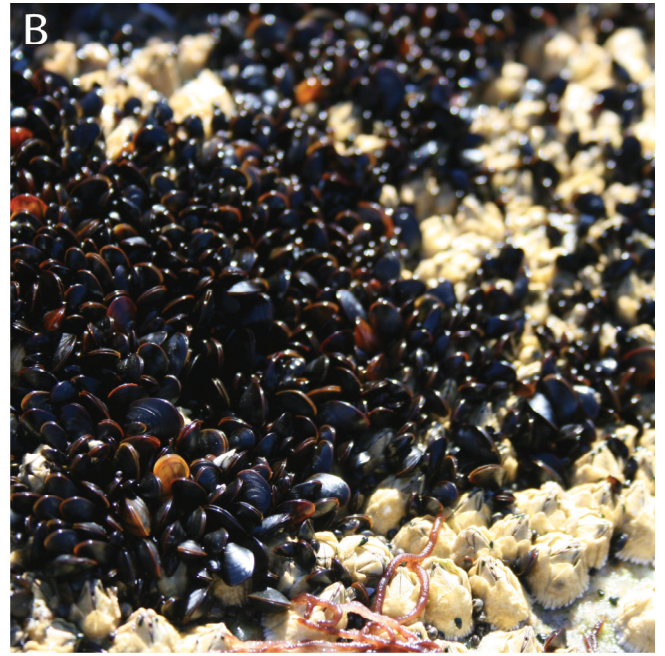


Abb. 5: (A) Dichte Population von *S. balanoides* oberhalb der Wasseroberfläche. (B) Gemeinsamer Siedlungsraum von *S. balanoides* mit jungen Miesmuscheln. (C) Typisches Auftreten der Population in konzentrierten Flecken am Felsen. (D) Gemeinsames Auftreten mit *Fucus ceranoides* und *Haliclona limbata* an der Wasseroberfläche.

In der zweiten Untersuchungsreihe (b) wurde das Vorkommen von *S. balanoides* an nördlich bzw. südlich ausgerichteten Küstenabschnitten verglichen. Da die südlich ausgerichteten Habitate einer intensiveren Sonnenstrahlung und somit einer höheren Temperatur ausgesetzt sind, wurde angenommen, dass diese ein geringeres Vorkommen von *S. balanoides* aufweisen. Die Ergebnisse der Untersuchungsreihe (b) zeigen ein signifikant vermehrtes Auftreten der Seepocken an nördlichen gegenüber südlich ausgerichteten Küstenabschnitten.

Eine nahe liegende Erklärung für diese Befunde könnten die Bedingungen in Habitaten oberhalb der Wassergrenze sein, die einer stärkeren Sonnenstrahlung ausgesetzt sind. Innerhalb des Litorals sind die Seepocken regelmäßig Trockenperioden ausgesetzt. Während dieser Trockenphasen verstärkt eine intensive Sonneneinstrahlung bei südlicher Ausrichtung des Habitats den thermischen Stress.

Generell ist festzustellen, dass Seepocken lange Zeiträume in denen sie trocken fallen, überleben können (Nillson-Cantell, 1978). Die genauen

Zeiträume des Überlebens in Trockenphasen für *S. balanoides* wurden bisher nicht festgestellt. Vermutlich ist es dennoch von Vorteil, den thermischen Stress möglichst gering zu halten. Frühere Forschungsergebnisse stellten heraus, dass in wärmeren Habitaten der thermale Stress und die Austrocknungsgefahr durch eng besiedelte Lebensräume herabgesetzt werden (Bertness et al., 1999; Bertness & Leonard, 1997). Der Vermutung, dass das geringere Vorkommen von *S. balanoides* an den südlich ausgerichteten Untersuchungsstellen mit dem thermalen Stress und der Austrocknungsgefahr zusammenhängt, müsste in weiteren Untersuchungen nachgegangen werden.

Ein weiterer Erklärungsansatz, dass das Auftreten anderer sessiler Organismen und somit Konkurrenz um Siedlungsfläche das Vorkommen von *S. balanoides* einschränkt, konnte im Zuge qualitativer Beobachtungen nicht bestätigt werden. Auch an stark algenbewachsenen Stellen traten dichte Seepockenpopulationen auf, eine gegenseitige Verdrängung konnte nicht beobachtet werden. Vielmehr traten die Populationen gemeinsam auf, sodass davon ausgegangen werden kann, dass dieses gemeinsame Vorkommen zumindest keine beschränkenden Auswirkungen auf die Populationsgröße von *S. balanoides* hat. Es konnten keine merklichen Unterschiede in der Besiedlungsdichte durch *S. balanoides* an Orten mit oder ohne Konkurrenten um Siedlungsfläche festgestellt werden. Untersuchungen zu positiven Interaktionen innerhalb intertidaler, sessiler Gemeinschaften, die großer Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind zeigten, dass die Überlebensrate einzelner Individuen positiv mit der Siedlungsdichte im Habitat einhergeht (Bertness & Leonard, 1997). Daraus lässt sich die Vermutung ableiten, dass ein gemeinsames Auftreten von *S. balanoides* mit anderen sessilen Arten die Überlebensrate begünstigt. Im Zuge weiterführender Untersuchungen könnten die Auswirkungen von Interaktionen geprüft werden.

Literatur

Bertness, M. D., Leonard, G. H., Levine, J. M. & Bruno, J. F. (1999): Climate-driven interactions among rocky intertidal organisms caught between a rock and a hot place. *Oecologia* 120: 446-450.

Bertness, M. D. & Leonard, G. H. (1997): The role of positive interactions in communities: Lessons from intertidal habitats. *Ecology* 78(7): 1976-1989.

Jonsson, P. R. & Larsson, A. I. (2006): Barnacle larvae actively select flow environments supporting post-settlement growth and survival, *Ecology*, 87(8):. 1960–1966.

Kristiansen, A. & Svedberg, U. (1999): *Havets Växter*. Stockholm: Prisma.

Ling, U. & Zeller, E.-M. (2010): Untersuchung von Substratpräferenzen verschiedener Balanida (Cirripedia: Crustacea). in press.

Little, C. & Kitching, J. A. (1996): *The Biology of Rocky Shores*. Oxford: Oxford University Press.

Luther, G. (1987): *Seepocken der deutschen Küstengewässer*. Hamburg: Biologische Anstalt Helgoland.

McQuaid, C. D. & Branch, G. M. (1985): Trophic structure of rocky intertidal communities. Response to the wave action and implication for energy flow. *Marine Ecology Progress Series*, 22: 153-161.

Menge, B. A. (1987): Predation Intensity in a Rocky Intertidal Community. Relation between Predator Foraging Activity and Environmental Harshness. *Oecologia* 34: 1-16.

Nilsson-Cantell, C.-A. (1978): *Cirripedia Thoracica and Acrothoracica*. Oslo: Universitetsforlaget.

Organisation for Economic Co-Operation and Development (1963): *Barnacles. Catalogue of main marine fouling organisms*. Paris: OECD Publications.

Artenliste „Meeresbiologische Exkursion – Tjärnö“

23.09.2010 Brücke zwischen Tjärnö und Saltö

Cnidaria

Cyanea lamarcki
Clava multicornis

Polyplacophora

Lepidochitona cinerea

Bivalvia

Tapes decussatus
Ostrea edulis
Crassostrea gigas
Mytilus edulis
Cerastoderma edule
Mya arenaria

Gastropoda

Littorina littorea
Rissoa sp.

Bryozoa

Cryptosula pallasiana

Polychaeta

Perinereis cultrifera
Nereis pelagica
Spirorbis tridentatus
Spirorbis spirorbis

Crustacea

Palaemon elegans
Crangon crangon
Carcinus maenas
Macropodia rostrata
Pagurus bernhardus
Balanus crenatus
Semibalanus balanoides
Balanus balanus
Balanus improvisus

Echinodermata

Asterias rubens
Leptasterias muelleri

Tunicata

Ciona intestinalis

Craniota

Myoxocephalus scorpius

24.09.2010 Schiffsausfahrt

Hartboden

Algen: *Codium fragile*, *Lithothamnion glaciale*

Cnidaria

Alcyonium digitatum
Stomphia coccinea
Caryophyllia smithii

Gastropoda

Gibbula tumida

Bivalvia

Pseudamussium septemradiatum
Astarte sulcata
Tridonta montagui
Arctica islandica
Pecten maximus

Crustacea

Liocarcinus depurator
Hippolyte varians

Echinodermata

Marthasterias glacialis

Tunicata

Ascidia virginea
Ascidia mentula
Ascidella scabra
Botryllus schlosseri

Craniota

Ctenolabrus rupestris
Taurulus bubalis

Schlamm Boden

Cnidaria

Pennatula phosphorea

Nemertini

Cerebratulus fuscus

Polychaeta

Praxillella praetermissa

Ophelina acuminata

Terebellides stroemi

Crustacea

Urothoe sp.

Echinodermata

Amphiura filiformis

Echinocardium flavescens

Astropecten irregularis

Plankton

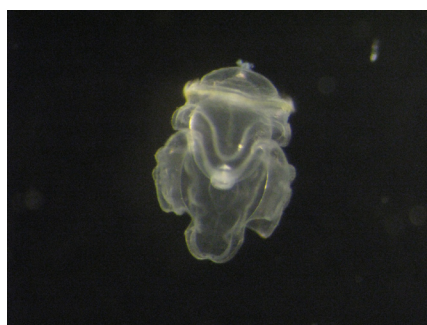
Calanus sp.

Radiolarien...

Sagitta elegans

Tomopteris helgolandica

Glossobalanus marginatus



Tagesprotokoll Freitag, 24.09.2010

Nach einer zu kurzen Nacht stolperten wir durch den grauen Morgen um 8 Uhr zum Frühstück. Gestärkt durch Hummerpastete und Haferbrei haben wir alle unsere vorteilhaft modisch-schicken Regenhosen übergestreift und uns mental auf einen Tag auf See vorbereitet. Schnell trennte sich die Spreu vom Weizen und es offenbarte sich, wer die nötige Professionalität eines Seemanns besaß und wer sich als Amateur entpuppte. Die Profis, Caro und Thomas, wussten wie man nasse Füße vermeidet und trugen die Hose über dem Stiefel, während der Laie lieber die Gummistiefel zur Schau trug. Entgegen aller Befürchtungen blieben Regen und starker Wellengang aus und niemand verlor sein Frühstück.

Insgesamt nahmen wir drei Bodenproben, wobei die Schlammprobe bei Robert besondere Begeisterung hervorrief: „Das sieht ja aus wie Eiscrème!!!“ Für die Blasenschwachen, Sofia, Mira und Juliane, hat Captain Anders sogar die Pforte zu Wärme und Erleichterung geöffnet und doch noch Wasser auf dem Boot vermieden! Zurück an Land widerstanden wir den köstlichen Gerüchen, die uns aus der Küche entgegenflogen und versorgten gewissenhaft die neuen Haustiere, bevor wir uns dem Genuss der Lasagne hingaben.

Thomas gönnte uns ein Mittagspäuslein, das einige nutzen, um ihr Schlafdefizit auszugleichen (Ja, das haben wir hier schon nach zwei Tagen!), wobei wir die Betten nicht trocken erreichten, weil uns der Regen dann doch noch eingeholt hat.

Hoch motiviert starteten wir danach in die zweite Hälfte des Tages, um den Fang vom Morgen zu analysieren, dabei bilde-

ten sich dann die ersten Expertenrunden, allen voran Eva die Muschelkönigin.

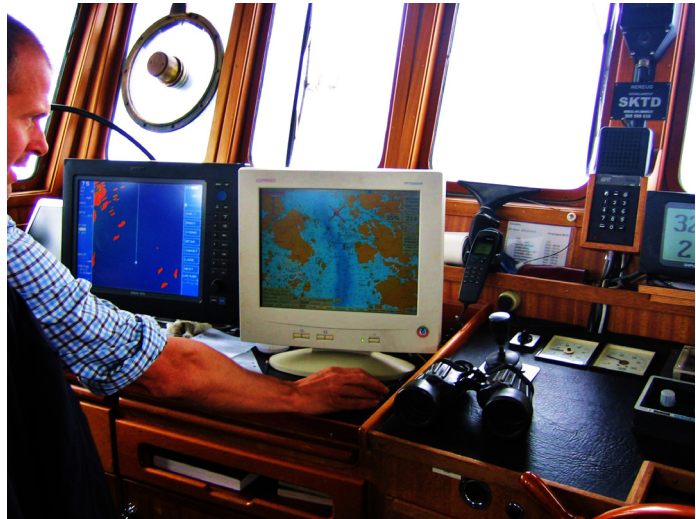
Um 13.30 begann dann für die erste Fünfergruppe der lang ersehnte Motorboot-Unterricht mit Anders (Ja, ja der Mann hat viele Talente). Nachdem die Hürde der englischen Sicherheitsbelehrung genommen war, die wir alle pflichtbewusst wie wir sind, äußerst gewissenhaft studiert haben, lauerte schon die nächste Gefahr: die Todesleiter! Nur unter höchster Kraftanstrengung und Überwindung schafften wir es alle unverletzt ins Boot, drehten einige Runden, manche vorsichtig, andere wie richtige Kerle (Robert vermisste Speedboot-Action). Todesmutig wie Anders eben ist, überließ er Undine, Esther und Katrin das Einparken zurück im Hafen.

Dann gabs endlich wieder Abendessen, um 17 Uhr wie man das nun mal so macht! Auf der Karte stand Pfeffer und Knoblauch mit einem Hauch Salat, der uns alle husten ließ. Nach einer weiteren kurzen Pause ließen wir den Arbeitstag ausklingeln, indem Oskars neue Zellennachbarn vorgestellt wurden.

Während andere sich danach der Abgammellei hingaben, steckten Sofia, Juliane und Maria ihre letzte Kraft in einen Dauerlauf durch die Finsternis Schwedens, Thomas und Sabrina hingegen verbrachten gemütliche Stunden mit dem Fixieren von Eichelwurmlarven (Was könnte man sich Schöneres vorstellen?)

Roberts freudig erwarteter abendlicher Saunagang misslang und so musste die innere Wärme mit Alkohol erlangt werden. Während die meisten schon süß träumten, hat er sich Maria,

Juliane und Josephine geangelt und die Nacht mit einer Flasche Wodka, ner halben Flasche Rum, einigen Schlückchen Martini, Bauchtanz, schwedischen Männern und einer Wette verbracht. Der Wetteinsatz: Wenn Robert verliert, muss er ein Glas Schlangensterne trinken, wenn Juliane verliert, muss ein köstliches Stück Alge verzehrt werden. Robert hat geschummelt...



26.09.2010



Tag der Entscheidung – 01.10.2010 – Wir werden langsam irre....

Schlaf wird überbewertet

Paper schreiben

Paper schreiben

Pockenkind I



Wir werden
irre!

Team Seestern/Muschel-Liebe

Paper schreiben

Grundelfreunde

Motorbootleute

Pockenkind II

Seesterngruppe

Paper endlich
abgeben